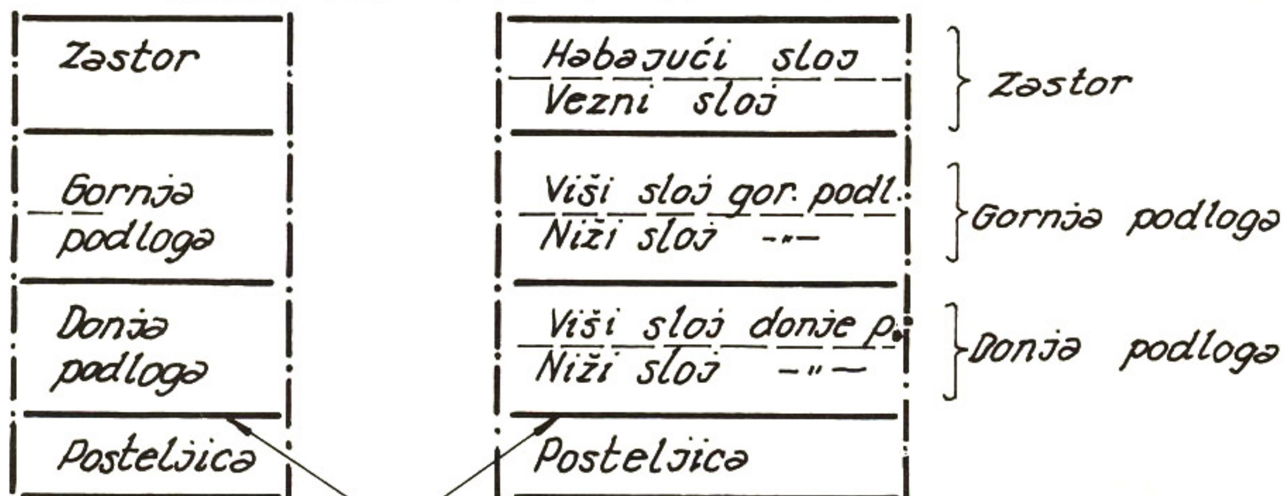
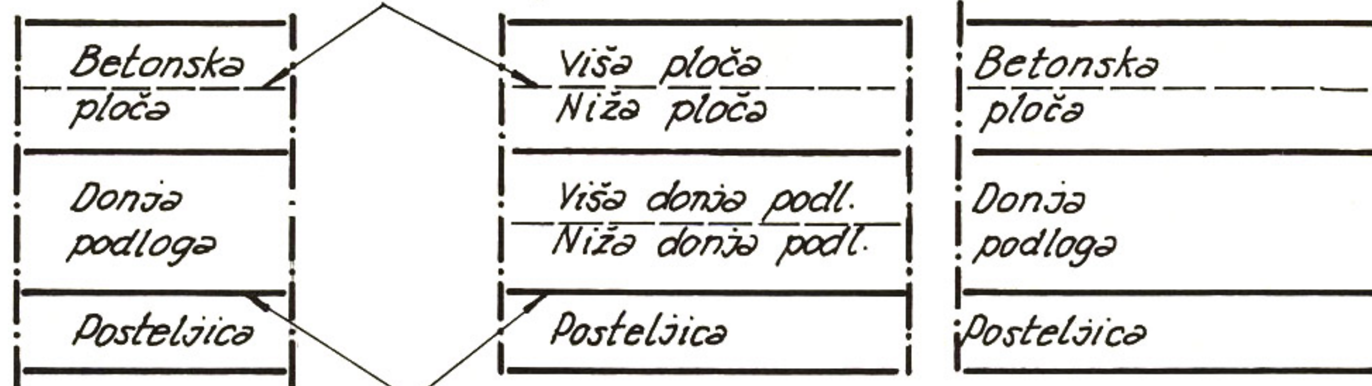
КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Врсте и типови коловозних конструкција

- ✓ две основне врсте коловозних конструкција: флексибилне и круте
- ✓ флексибилне-битуменом везани материјали, еластичније и деформабилније од крутих
- ✓ круте-портланд цементом везани материјали, преносе оптерећење на већу површину постељице, мањи напони на притисак и мања деформација од флексибилних
- ✓ распоред слојева, дебљина и квалитет материјала се одређују димензионисањем
- ✓ поједини слојеви се могу изоставити у зависности од локалних услова





Врсте коловозних конструкција

- ✓ типови флексибилних коловозних конструкција

  вишеслојна конструкција од слојева битуменом везаних материјала (асфалтни застор и носећи слојеви)

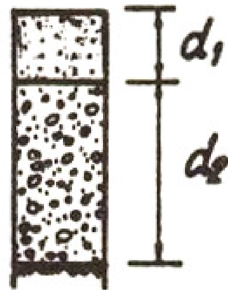
  састав, дебљина и распоред слојева зависе највише од саобраћајног оптерећења, својстава тла у постељици, климатских и хидролошких услова

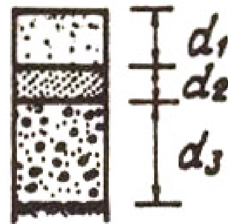
  састав конструкције се, у принципу, разликује према врсти подлоге испод битуменом везаних материјала у застору

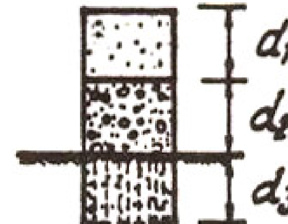
  битуменом везани слојеви у застору се деле на хабајуће и везне

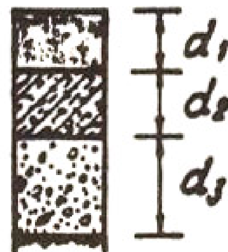
  испод се обично ради битуменизирани носећи слој (BNS)

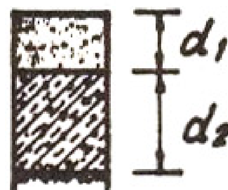
  дебљина битуменом везаних слојева варира у зависности од величине оптерећења и врсте материјала

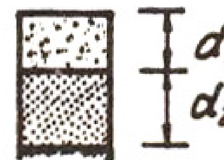












LEGENDA :

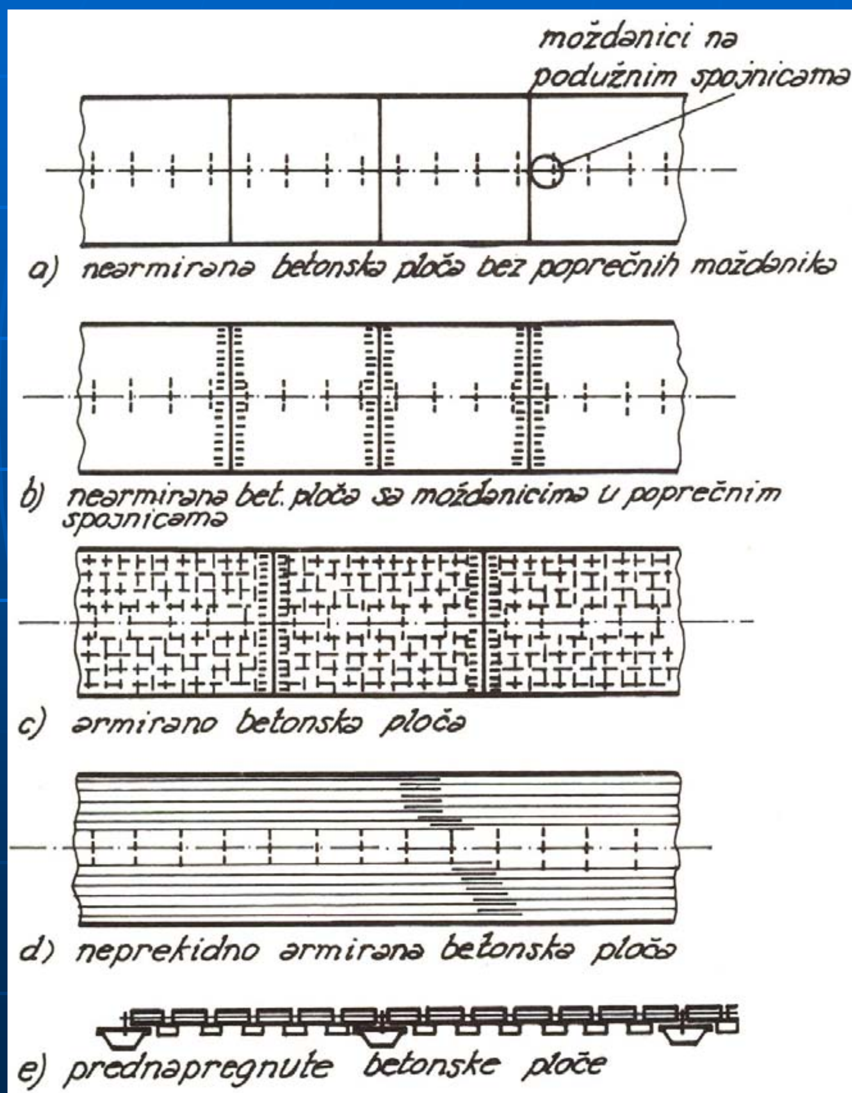
- zastor od asfalt betona i bitumenizirani noseći sloj (BNS)
- noseći sloj od nevezanog zrnastog kamenog materijala (šljunak, drobljeni kameni mat. i sl.) ili zgura visokih peći
- stabilizacija tla u posteljici pogodnom vrštom veziva (kreč, cement i sl.)
- donji bitumenizirani noseći sloj (DBNS)
- noseći sloj od zrnastog kamenog materijala stabiliziranog cementom ili sličnim hidrauličnim vezivima

Типске флексибилне коловозне конструкције

- недоступност квалитетних камених материјала доводи до увођења везаних материјала за носеће слојеве (потпуно изостављање слоја од невезаног зрнастог материјала)-”full depth” конструкције (проблем цене нафте и пластичне деформације)
- за тешко и врло тешко оптерећење дебљина слојева од битуменом везаних материјала се све више смањује, побољшава се квалитет састава (већи удео дробљеног каменог материјала, крупнозрне мешавине, тврди битумени)
- препорука је и да се слојеви битуменом везаних материјала раде из два слоја (хабајући слој и BNS) са подлогом од везаног зрнастог каменог материјала (боље збијање дебљих слојева, мање додирних површина између слојева, мањи трошкови енергије и изградње)

✓ типови крутих коловозних конструкција

бетонска неармирана или армирана плоча положена преко подлоге или постељице



Типови бетонских коловозних конструкција

- неармиране-нема арматуре која би утицала на настајање пукотина или преношење оптерећења на подлогу, релативно мало растојање спојница
- армиране-знатно веће растојање спојница, пренос оптерећења преко спојница се обавља можданицима
- непрекидно армиране-велики проценат арматуре (0,6 % и више), мали број спојница
- преднапрегнуте-смањена дебљина, повећана отпорност на савијање
- основна улога арматуре је да спречава отварање пукотина, али не и њихово настајање
- арматура се поставља у неутралну зону (контрола рада пукотина, без преноса оптерећења)
- дебљине неармираних и армираних коловозних конструкција су скоро идентичне

Елементи коловозних конструкција

- ✓ основни елементи: постељица, доња подлога, горња подлога, застор
- ✓ постељица

  темељ коловозне конструкције (у усеку је од природног тла, у насипу од природног тла транспортованог из усека или позајмишта-прерађено)

  основна улога постељице:

  - омогућити правилну изградњу слојева изнад ње

  - заштитити труп пута до момента грађења нових слојева

  - пружити уједначену носивост

- ако је носивост задовољавајућа, понекад се директно полажу слојеви везаних материјала на постељицу
- најчешће се преко постељице ради доња подлога
- економски се више исплати побољшати носивост постељице него повећавати дебљине слојева изнад ње
- за бетонске коловозне конструкције је најважније да постељица има уједначену носивост, а не колико она износи
- слаба постељица CBR≤2 % (дебљина доње подлоге min 15 cm)
- нормална постељица 2 %<CBR<15 % (дебљина доње подлоге min 8 cm)
- врло чврста постељица CBR≥15 % (дебљина доње подлоге min 0 cm)

- ако је дебљина лошег тла у постељици мања од 1,5 m може се комплетно заменити бољим материјалом, ако је економски оправдано
- механички поступак побољшања састоји се у побољшању гранулометријског састава темељног тла и његовог збијања
- хемијски поступак побољшања користи везива као што су: цемент, креч, пепео, битумен и др.
- заштита постељице од дејства мраза се може постићи спуштањем нивоа подземне воде или изолацијом
- дубина збијања тла у постељици се креће од 15 до 30 cm (повећање чврстоће на смицање, смањење водопропустљивости, стишљивости и апсорпције воде)

минимални попречни нагиб површине 4 (3) %, у зависности од карактеристика тла и услова одводњавања

дозвољено одступање равности ±3 cm на равњачи дужине 3 m

носивост (CBR-Калифорнијски индекс носивости, модуо стишљивости, повратни модуо, модуо реакције

- ✓ доња подлога

један или више слојева природног или механички/хемијски стабилизованог тла, дробљеног агрегата, шљунковито-песковитог агрегата или отпадног материјала (дробљени бетон, шљака)

сврха доње подлоге је повећање дебљине на најекономичнији начин

- основна улога: уједначавање носивости, повећање носивости конструкције, смањење негативних утицаја због промене запремине у постељици, смањење/спречавање дејства мраза или пумпања
- најчешће се ради од шљунковито-песковитог или дробљеног агрегата
- дебљина 15-30 cm (саобраћајно оптерећење, дејство мраза, квалитет материјала)
- за велику носивост постељице (CBR≥10 %) и ако нема опасности од мраза може се изоставити
- тип подлоге зависи од расположивих материјала и саобраћајног оптерећења (тежити отвореним мешавинама које омогућавају одводњавање у свим условима)

- горња подлога

  један или више слојева непосредно испод застора

  сваки материјал отпоран на дејство воде и мраза и који има CBR≥90 % може се користити за горњу подлогу (дробљени агрегат, мршави бетон, цементом и битуменом везани материјали, стабилизовани материјали)

  улога (круте коловозне конструкције): спречавање пумпања и дејства мраза, одводњавање, смањење негативног дејства промене запремине и постељици, повећање носивости конструкције

  улога (флексибилне коловозне конструкције): повећање носивости, побољшање одводњавања, спречавање дејства мраза

  најпознатије горње подлоге: макадам, бетон, цементом или битуменом везани материјали

- суво везани макадам-мешавина крупног дробљеног агрегата (најчешће кречњак) 4-7 cm и ситног агрегата (прашина-0,5 cm), слој крупнијег материјала се испуњава ситнозрним агрегатом

- водом везани макадам-вода (2-5 % по маси) се додаје заједно са ситнијим агрегатом да би се олакшало утискивање

- пенетрисани макадам-у основни крупни материјал се утискује (потпуно или делимично) мекше битуменско везиво, затварање површине ситнозрним фракцијама

- мршави бетон-агрегат/цемент 20:1-15:1

- ✓ застор

  застор подноси директне утицаје саобраћајног оптерећења (пнеуматици, хабање) и фактора средине (температура, сунчеви зраци, вода)

- најквалитетнији слој у коловозној конструкцији
- хабајући и везни слој
- везни слој повезује хабајући са подлогом, повећава носивост, отпорност на трајне деформације, постепено мења квалитет материјала, обезбеђује услове за квалитетнију изградњу хабајућег слоја, квалитет материјала је исти као за хабајући слој, дебљина 5-10 cm
- дебљина хабајућег слоја од асфалт бетона 2,5-8 cm
- дебљина бетонских плоча 10-35 (40) cm (путеви 20-25 cm)
- минималне дебљине и квалитет су прописани стандардима, а одређују се димензионисањем
- дозвољено одступање равности ±4 mm на равњачи дужине 4 m
- попречни нагиб коловоза је min 2,5 (2) %

- бетонски коловози-спојнице

  спојнице (разделнице) се израђују ради контролисаног ломљења и спречавања извијања плоча по утицајем промене температуре и влажности

  основни типови: попречне и подужне

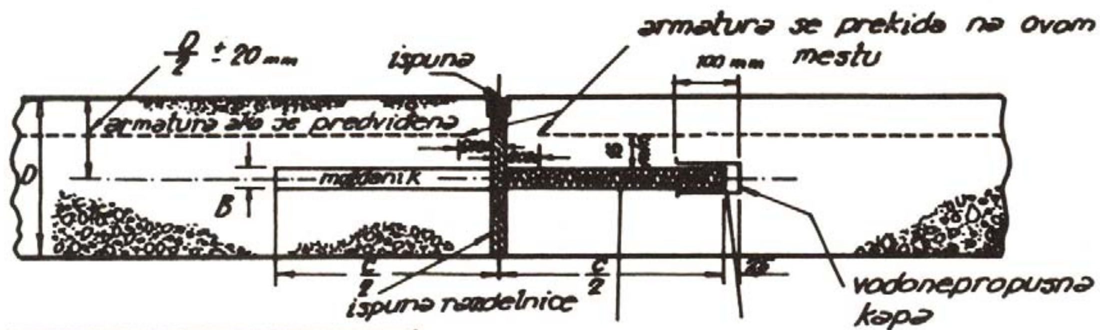
  Попречне спојнице

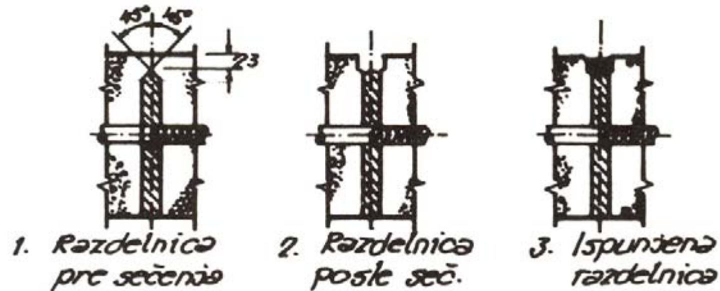
  примена код класичних и армираних бетонских коловоза

  - експанзионе (дилатационе) спојнице

  омогућавање простора за ширење бетонских плоча када температура порасте изнад оне при уграђивању

  омогућавају и обављање функције свих осталих типова спојница





Moždanik		
deb. ploče	dim. „B"	dim. „C"
150 do 189 mm	20	650
190 do 239	25	650
240 i više	32	750

1. Razdelnica pre sečenja
2. Razdelnica posle seč.
3. Ispunjena razdelnica

Типична експанзиона спојница

при грађењу ширина спојнице је 20-25 mm, а некада и мање од 12,5 mm (спојнице на мањем размаку или је грађење обављено у току топлог времена)

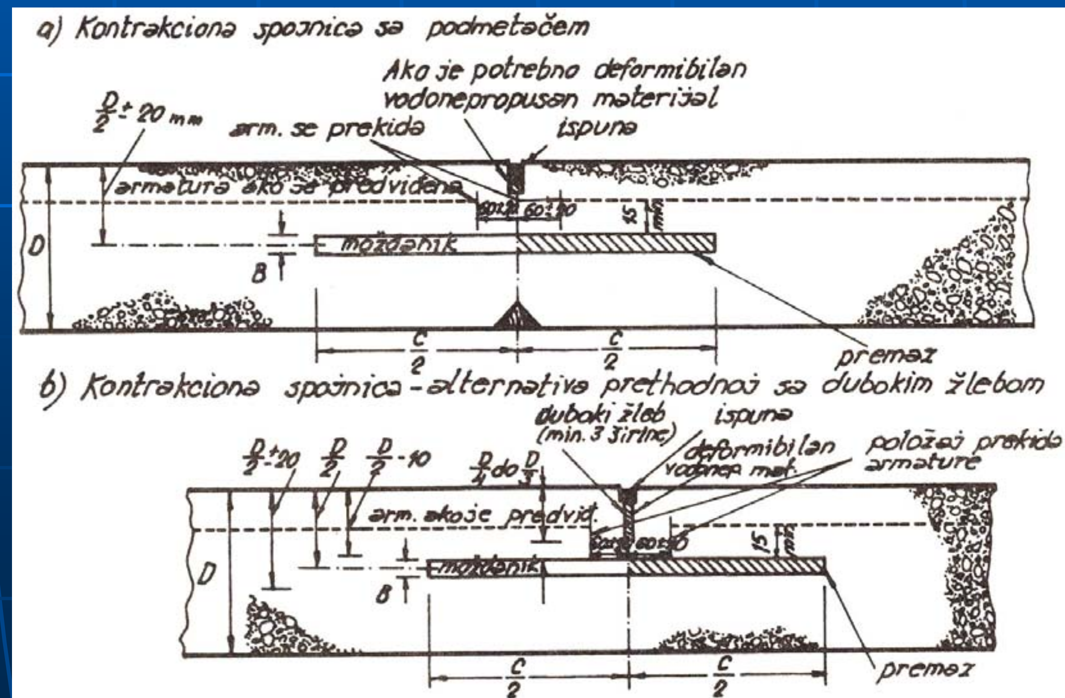
мožданици спречавају релативно вертикално померање крајева плоча, али не и хоризонтално (један од крајева сваког мождaника се, премазом или пластичном капом, штитити од контакта са бетоном)

- контракционе (привидне) спојнице

омогућавају скупљање бетона и спречавају или контролишу настајање пукотина

омогућавају и ширење, до првобитне дужине плоче, спречавајући продирање страних материјала у отвор

на месту спојнице плоча се слаби израдом жљеба одозго и постављањем подметача за изазивање пукотина одоздо (необавезно)



Типична контракциона спојница

дебљина плоче се слаби за 1/4 до 1/3 висине

подметач се може изоставити ако се коловоз ради у току лета

жљебови се формирају у свежем бетону или се секу

можданици се уграђују у фази разастирања и збијања бетона

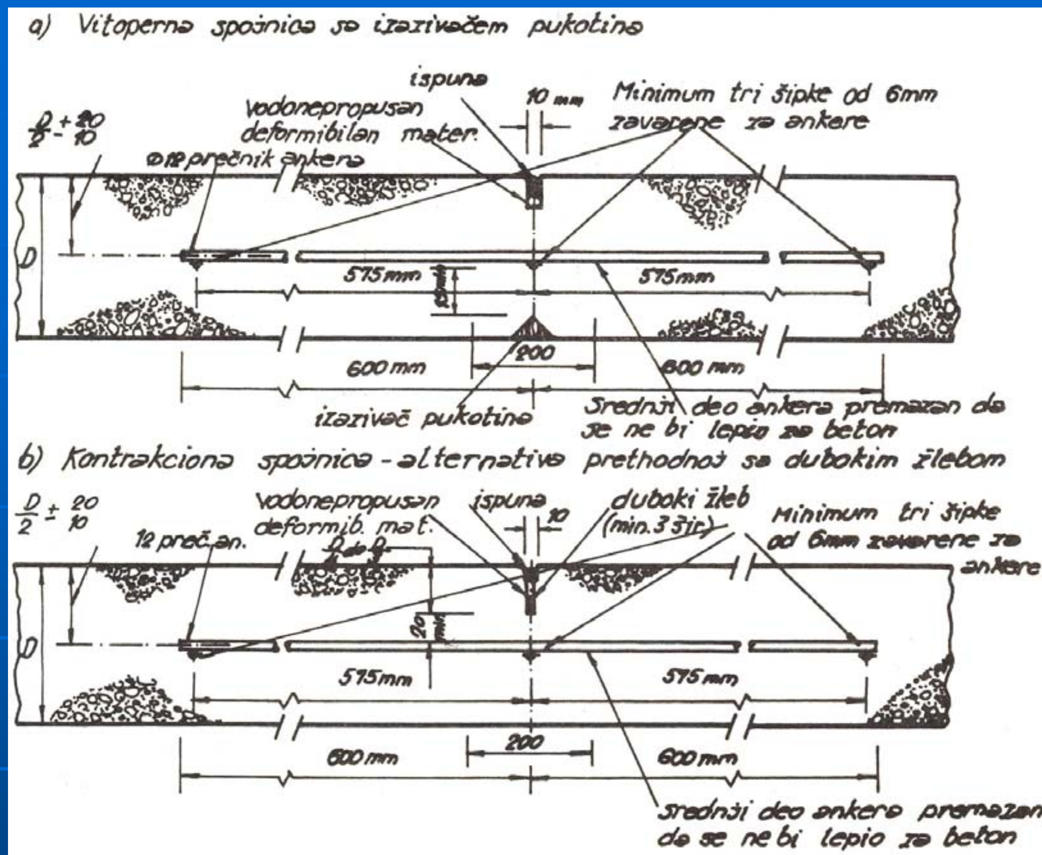
- витоперне спојнице

дозвољавају мала угаона померања између плоча и тиме спречавају појаву већих напона од температуре при савијању или витоперењу плоча

не дозвољавају скупљање или ширење плоча, јер су анкери деформабилни и чврсто везани за плочу

витоперне спојнице могу заменити контракционе, али их не сме бити више од три, једна до друге

главна улога је као подужне спојнице



Типична витоперна спојница

- радне спојнице

приликом прекида рада (лоше временске прилике, крај радног времена и сл)

најчешће контракциона или експанзиона, али не може бити витоперна

Подужне спојнице

спречавање појаве неправилних подужних пукотина и омогућавање грађења коловоза пројектованих ширина

најчешће витоперне или радне контракционе спојнице

величина плоча и број пукотина су директно зависни

препоруке:

- ширина плоче је једнака ширини коловозне траке (може и две, ако укупна ширина није већа од 6 m)
- експанзионе спојнице треба градити само уз објекте
- све остале спојнице су контракционе и делимично витоперне
- дужина плоча не треба да буде већа од 5-6 m

распоред спојница зависи од дебљине плоче, трења између плоча и подлоге, температурних разлика и врсте агрегата

експанзионе спојнице: max 60 m за плоче дебљине 20 cm и више, односно 40 m за тање плоче (са контракционим спојницама на интервалима од 5 m)

кречњачки агрегат: може се повећати на 72 m (алтернативно 48 m), са интервалом контракционих на 6 m

изградња у периоду 1.05-30.09: експанзионе се могу заменити контракционим спојницама

подужне спојнице треба да се раде тако да је ширина плоча max 4,5 m

продор воде и страних материјала у спојнице кроз жљебове се спречава стављањем испуне и заптивача

оба материјала се стављају у експанзионе, а само заптивач у остале спојнице

испуна се ради од меког дрвета, филца импрегнираног разређеним битуменом или катраном, плуте и сл.

заптивачи су масе од меканог битумена и синтетичке гуме

најновија сазнања указују да треба користити што мање ширине жљебова (мање од 0,25 cm) и испуњавати их металним или пластичним тракама

косе спојнице (најчешће под углом од 9,5° у односу на попречни профил) се користе за смањење пукотина у угловима и постепени пренос оптерећења са точкова на спојнице

веома ретко се примењују

тип спојнице	растојање [m]	ширина жљеба [mm]	дубина испуне [mm]
контракционе	< 8	10	20 - 25
	8 - 15	15	20 - 25
	15 - 20	10	25 - 30
	> 20	на сваких 5 m се повећава за 5 mm	25 - 30
витоперне	сва растојања	5	15 - 20
експанзионе	сва растојања	5 mm више од срачунате ширине спојнице	25 - 30
подужне		5	20 - 25

- ✓ армирани бетонски коловози

армирањем се повећава трајност, дужина плоча између спојница и донекле смањује дебљина

- класични армирани бетонски коловози

спречава се отварање прслина и повећава компактност плоча између спојница

армирањем се безначајно повећава носивост плоча (дебљине армираног и неармираног коловоза су скоро потпуно исте)

одстојања између прслина се повећавају за 2,1-3,4 пута

количина подужне арматуре 2,2-7,6 kg/m^2, пречник 10-20 mm, растојање <15 cm

арматура може бити и од заварених решетки (попречне шипке у мрежи су пречника 8 mm, растојање 250 mm)

попречна арматура, за расподелу локалних напона на већи број подужних шипки, је на размаку до 75 cm (најчешће 30 cm), пречник је 1/4 пречник подужне арматуре (најчешће 10 mm)

растојање спојница зависи од количине арматуре, а свака трећа мора да буде експанзиона

- бетонски коловози армирани влакнима

бетон измешан са кратким, у свим правцима распоређеним, челичним, стакленим или другим влакнима

бетонска мешавина је ситнозрна са повећаном количином цемента

челична влакна: дужина 25-76 mm, пречник 0,25-0,76 mm

стаклена влакна: пречник 0,005-0,015 mm

количина влакана: 0,5-2 % по запремини, за челична 35-200 kg/m^3

употреба бетона армираног влакнима је за веома оптерећене коловозе на путевима

велика отпорност на стварање прслина и њихово отварање (идеалан материјал за ојачање постојећих коловоза)

дебљина плоча 15-25 cm

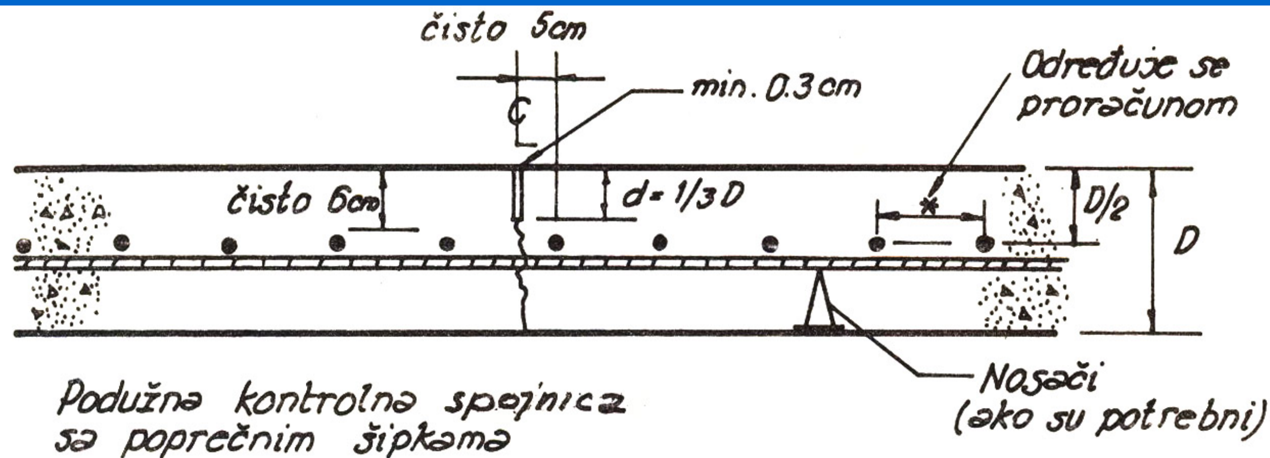
растојање спојница 5-15 m

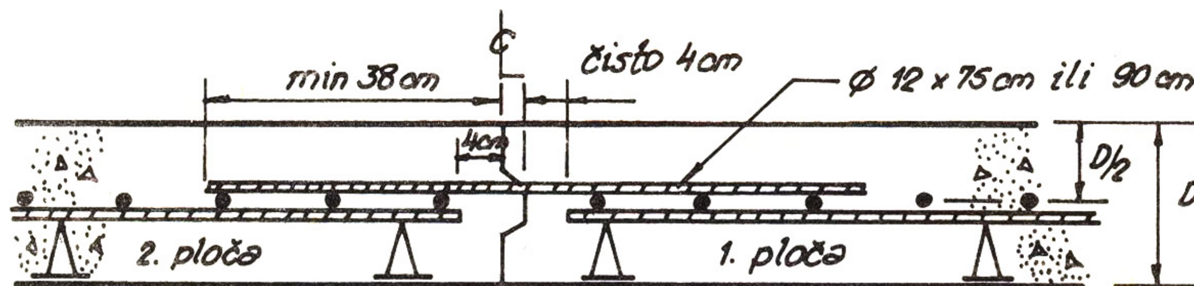
- непрекидно армирани бетонски коловози

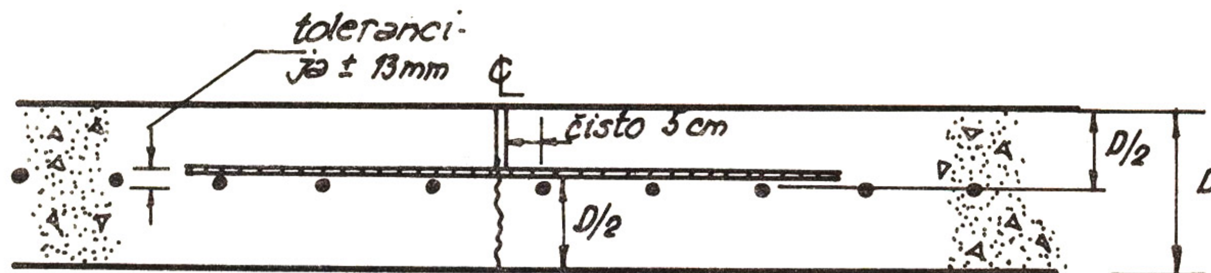
бетонски коловози армирани непрекидном арматуром у подужном правцу и без попречних експанзионих и контракционих спојница

улога арматуре је да настале пукотине држи на блиском растојању

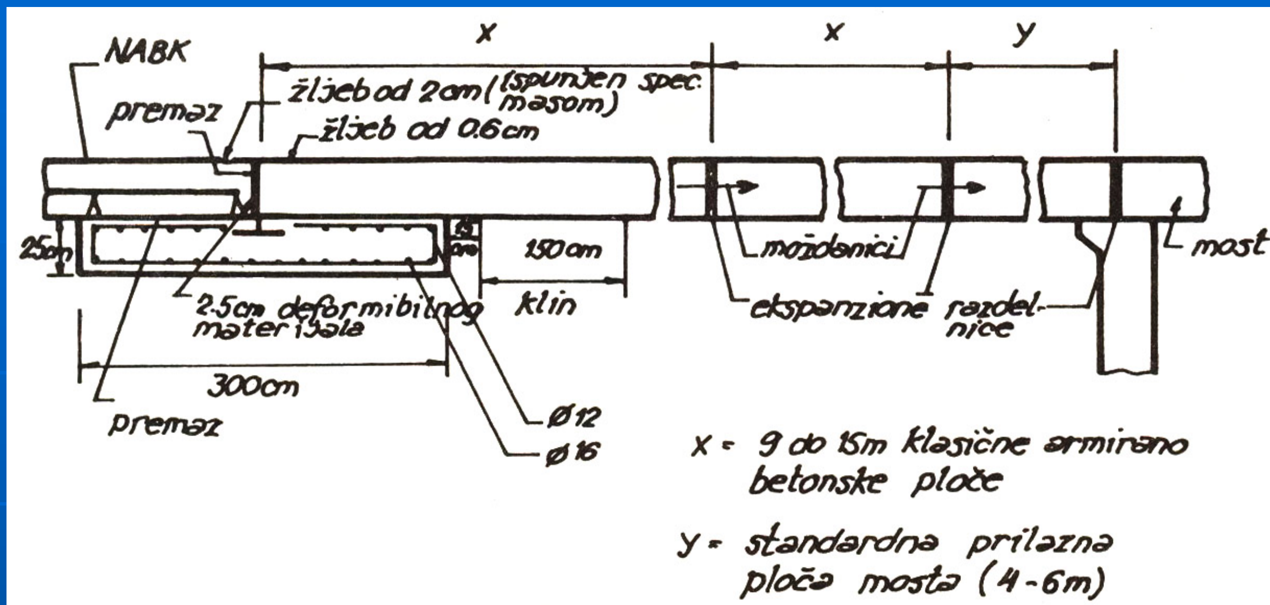
- пречник арматуре 12-22 mm
- количина арматуре: подужна 0,5-0,7 %, попречна 0,05-0,1 % од површине пресека плоче
- размак арматуре 10-130 cm
- већом количином арматуре или мањим пречником шипки може се смањити растојање и ширина пукотина
- подужне спојнице се раде као контролне (спречавање негативних последица промене запремине бетона, привидне контракционе спојнице) и конструкционе (за спој коловозних трака и додатних трака са спољне стране)
- попречне спојнице се раде као радне, прикључне (на крајевима, ако се коловоз прикључује на стабилну конструкцију) и анкероване (спречавање кретања крајева коловоза, плитки шипови или подвлаке)



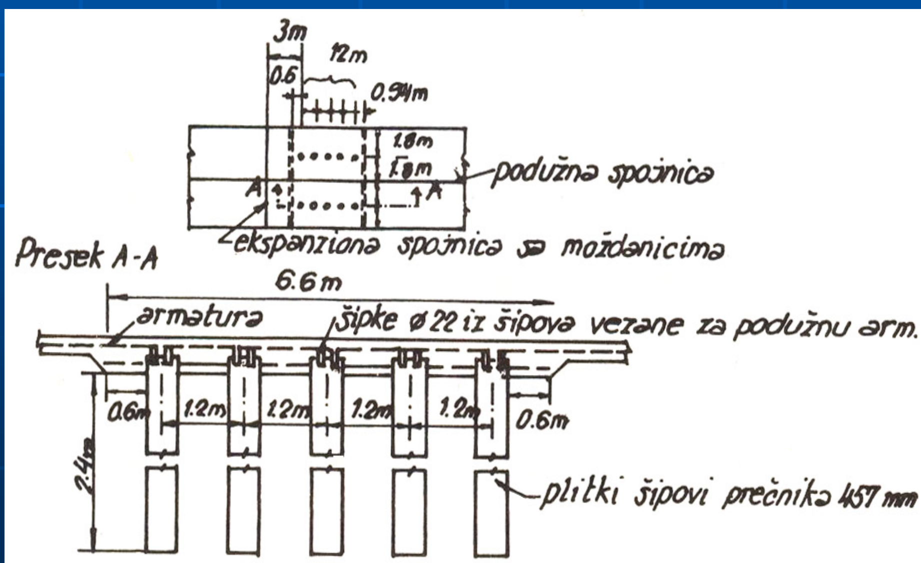




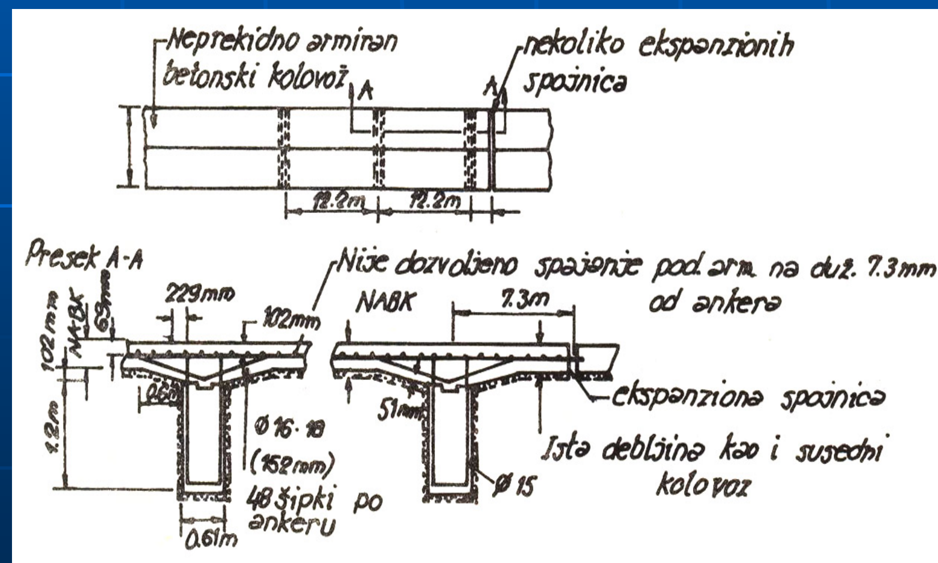
Подужне контролне и конструкционе спојнице



Детаљ попречне прикључне спојнице



Детаљ попречне анкероване спојнице са шиповима



Детаљ попречне анкероване спојнице са подвлакама

- преднапрегнути бетонски коловози

алтернатива контроли пукотина путем армирања или спојница

спречава се настајање и отварање пукотина и повећава трајност и носивост конструкције

одбацује се велики број попречних спојница и остварују дугачке плоче

повећава се носивост и поред мањих дебљина и веће флексибилности плоча

мањи трошкови

поправка оштећених коловоза је сложена и скупа

ограничена употреба код оштрих вертикалних и хоризонталних кривина

строги стандарди грађења и квалитетни материјали

специјалне спојнице

велики утицај средине

два основна типа коловоза:

- појединачни-плоче међусобно одвојене дилатационим спојницама и преднапрегнуте жичаним ужадима или кабловима, пре постављања бетона или након делимичног очвршћавања (директна веза каблова и бетона, мала дебљина плоча, само подужно преднапрезање, велика осетљивост слободних крајева-дилатација при промени температуре и влажности)
- непрекидни-непрекидне плоче преднапрегнуте без челичних ужади, употребом хидрауличких преса на спојницама, укљештењем плоча између ослонаца и уметањем клинова или употребом експанзивног цемента у плочама укљештеним на крајевима (лако одржавање, нема слободног ширења, напони варирају са променом температуре и влажности)

- ✓ застори од блокова

  погодни за путеве где је брзина ограничена на 50 km/h (стамбене зоне, паркиралишта, шеталишта и сл), али и у зонама раскрсница, на већим подужним нагибима, бензинским пумпама, халама

  отпорност на дејство мржњења и отапања

  лако и јефтино одржавање и поправка

  олакшан приступ инсталацијама

  толеришу се мала померања у постељици

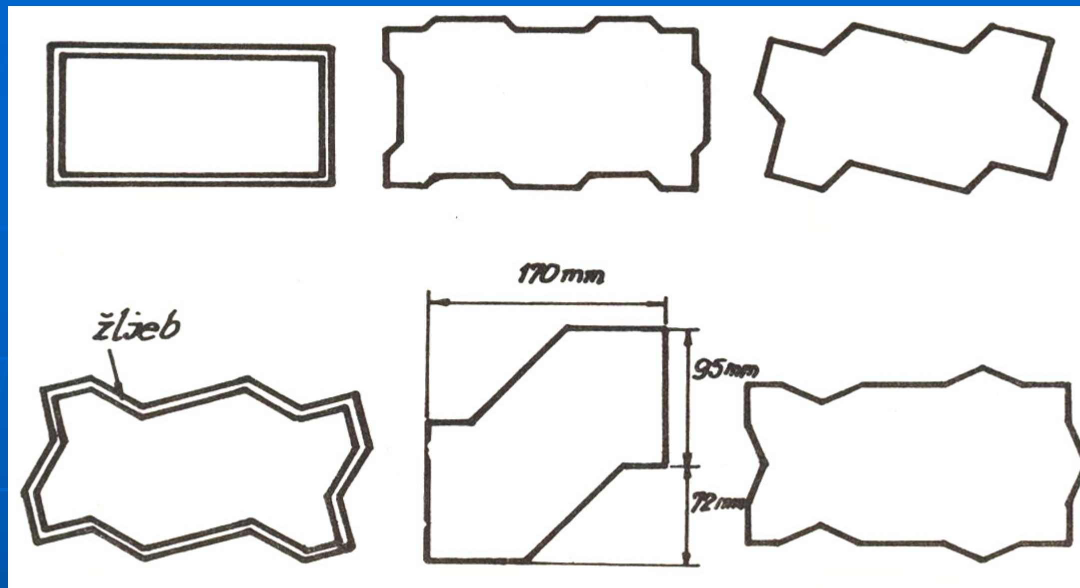
  једноставно грађење, без скупе механизације

  могу да послуже као привремени застор

  велика трајност и коефицијент трења

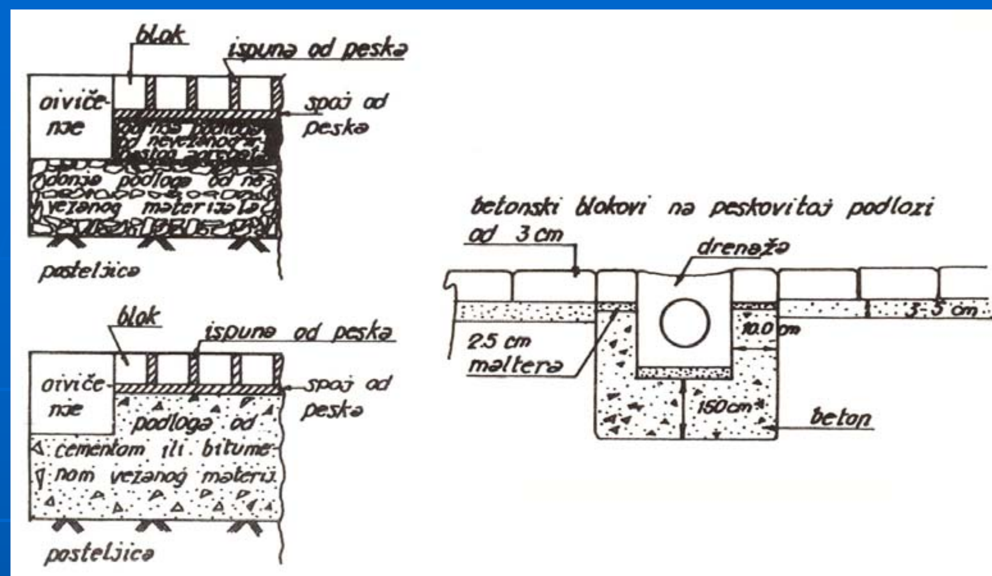
  упозоравање возача на грешке у вожњи-скретање

  велики избор облика, естетика

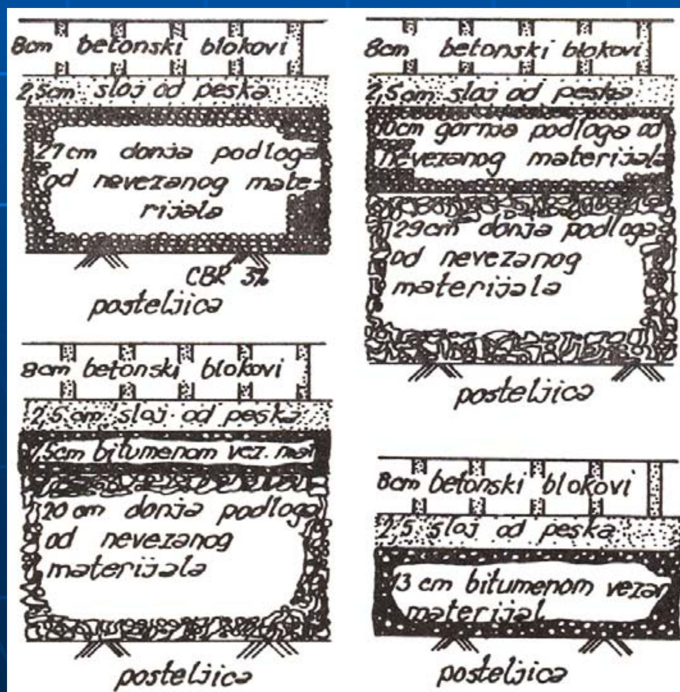


Типични облици бетонских блокова

- дебљине (скоро стандардне): 65, 80 и 100 mm, тањи се примењују за пешачке стазе, а дебљи за нормална саобраћајна оптерећења
- постављају се на несабијену подлогу и затим збијају одозго, уз евентуално додавање ситнозрног агрегата за испуну спојница
- димензионисање се своди на пројектовање нове флаксибилне конструкције и принцип еквиваленције



Застор од блокова на подлози од невезаног и везаног материјала и обрада дренаже



Примери решења застора од бетонских блокова

Материјали

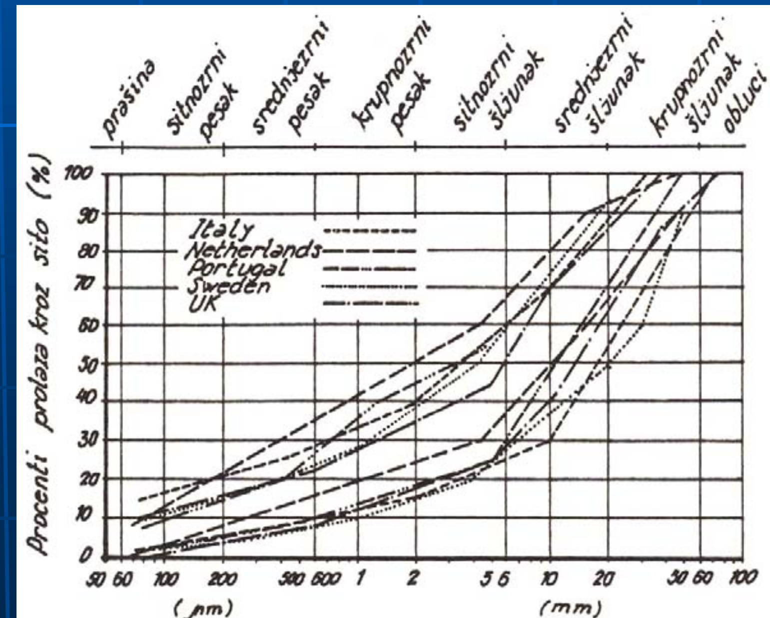
- основни материјали: невезани, везани, остали
- невезани материјали се налазе у природи или се добијају прерадом

природни-непрерађени: песак и шљунак

природни-дробљени (прерађени): филер, дробљени песак, камена ситнеж (обична и племенита) и туцаник)

најраспрострањенији и најчешће коришћени агрегати потичу од седиментних стена (кречњаци, доломити, пескови, шљункови), омогућавају добру приоњљивост битумена, али су неки забрањени за употребу у засторима због мале отпорности на хабање (шљунак)

- најквалитетнији материјали потичу од магматских стена (гранит, базалт, диорит, порфирит, андезит)
- вештачки: пепео високих пећи (шљака и филтерски пепео (везиво и пунилац))
- неопходна испитивања: облик, текстура површине, гранулометријски састав, апсорпција воде, приоњљивост, отпорност на хабање, жилавост, специфична тежина
- невезани агрегати се најчешће користе за доњу подлогу



Граничне гранулометријске криве невезаних материјала за доњу подлогу

- ✓ битуменом везани материјали

  најчешће се користе за флексибилне коловозне конструкције

  основне компоненте: везиво на бази битумена и агрегат (међусобни однос и учешће фракција се одређује пројектом мешавине)

  начин справљања одређује две основне групе:

  - материјали који се производе у постројењима (топли и хладни поступак)

  - материјали који се производе на лицу места прскањем или пенетрацијом (површинске обраде и пенетрисани макадам)

Материјали добијени по топлом поступку

асфалт-бетонске мешавине или мешавине од битуменизираних материјала добијене мешањем битумена, дробљеног агрегата и каменог брашна

уграђују се финишерима, при температурама вишим од 120°C и додатно збијају серијом ваљака

ситнозрни асфалт бетони (агрегат 0/2, 0/4, 0/8 и 0/11 mm)

крупнозрни асфалт бетони (агрегат 0/16 и 0/22 mm)

асфалт бетони за везни слој (агрегат 0/22 mm)

ливени асфалти

битуменизирани материјали (агрегат 0/16, 0/22, 0/32 и 0/45 mm)

асфалт бетони и ливени асфалти се уграђују у хабајући слој, а битуменизирани материјали у горњу подлогу

Материјали добијени по хладном поступку

мешавине припремљене на дневној или мало повишеној температури

везиво: разређени битумени, битуменске емулзије и катрани

мешани асфалтни макадами-дробљени камени агрегат, дробљени шљунак и дробљена шљака (0/32 mm), дебљина слоја максимално 10 cm (изузетно 20 cm ако се користе вибрациони ваљци)

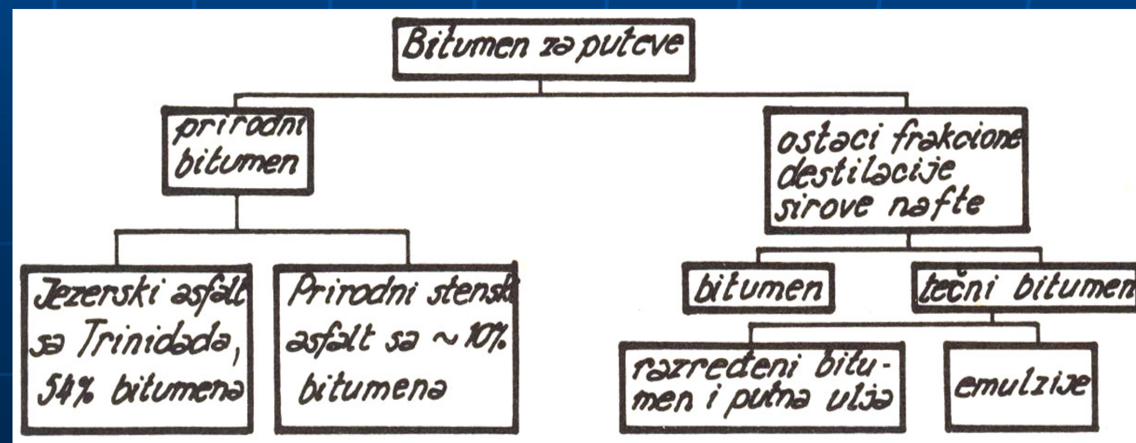
површинске обраде-танке покривке настале прскањем битуменским везивима и посипањем необавијене или битуменом мало обавијене камене ситнежи, користе се за одржавање или побољшање коловозних површина

Материјали добијени на лицу места

површинске обраде које се раде са ситнежи прсканом на лицу места

пенетрисани или натопљени макадами-уваљани камени агрегат, испуњен каменом ситнежи, која се један или два пута натапа везивом, а затим један или два пута посипа каменом ситнежи и ваља ради повезивања и затварања површине

Везива (катран, битумен, разређени битумен, емулзије)



Подела битумена који се употребљавају у нискоградњи

- сирови катран-вискозна, мркоцрна угљоводонична течност специфичног мириса, која се добија дестилацијом органских материјала (камени и мрки угаљ, дрво и др)

по хемијском саставу катран је веома различит од битуменских везива, али се терминолошки ту сврстава

по вискозности се дели на 6 врста: К10/17, К20/35, К40/70, К80/125, К140/240 и К250/500 (цифре означавају граничне вискозности на 30°C и 40°C изражене у секундама, утврђене вискозиметром за катран)

- битумен-мркоцрн, на нормалној температури у чврстом стању, потпуно растворљив у угљенсулфиду CS_2

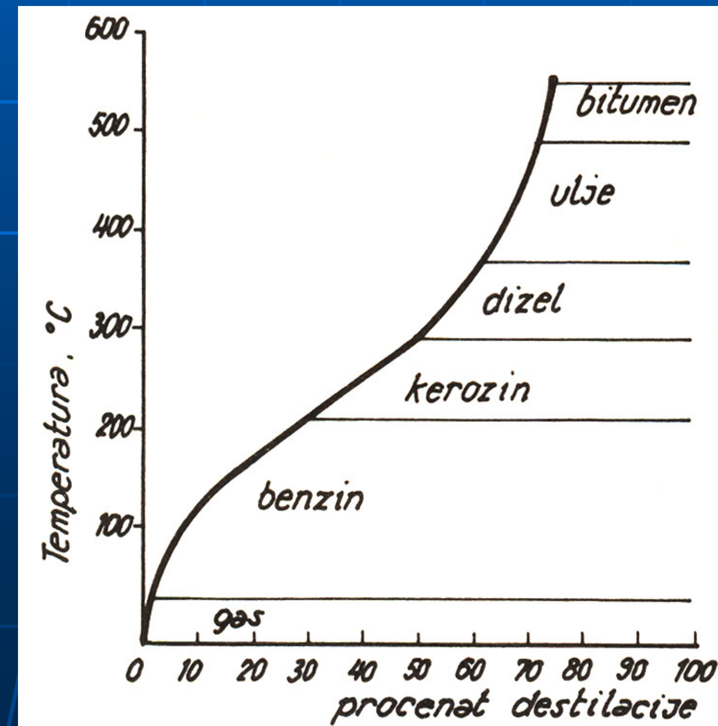
природни или добијање прерадом нафте и њених деривата

по пенетрацији се дели на 7 врста: BIT200, BIT130, BIT90, BIT60, BIT45, BIT25 и BIT15

дестиловани битумен-дестилација нафте, меки до тврди типови

високовакумски битумен-дестилација при високом нивоу вакуума, тврди типови

индустријски или оксидирани битумен-дување ваздуха у растопљени мекши тип битумена, изузетно еластична и пластична својства



Карактеристичне температуре при дестилацији нафте

- језерски асфалт-лежиште природног битумена помешаног са агрегатом на Тринидаду

битумен (53-55 %), минерални материјали (33,5-37 %), вода (9,7 %)

обично зрнасти материјал или шкриљац од кречњака или пешчара, који у природном стању садржи дисперговани битумен (4-18 %), нема велику примену иако га има више од језерског асфалта

- разређени битумен-привремено снижена вискозност додатком растварача који након уграђивања делимично испаре

уља за разређивање су катранског порекла, нафтни деривати или њихове мешавине

мешавине агрегата и разређеног битумена се могу ускладиштити неколико дана пре уграђивања у хладном стању

по процентуалном садржају уља за резређивање, понашању при дестилацији и вискозности разређеног битумена, деле се на 5 врста: RB0/1 (врло течан, загревање при уграђивању до 20°C, импрегнација релативно везаних материјала), RB5/10 (течан, загревање до 60°C, натапање невезаних материјала у тлу), RB30/50 (полувискозан, загревање до 80°C, прскање и претходно обавијање), RB100/170 (вискозан, загревање до 80°C, прскање и обавијање мешавина отвореног и затвореног типа) и RB200/300 (врло вискозан, загревање до 90°C, прскање и обавијање мешавина отвореног и затвореног типа у летњем периоду) (цифре означавају најкраће и најдуже време истицања у секундама)

- битуменска емулзија-мешавина фино диспергованог битумена и воде

стабилност диспергованог битумена, спречавање седиментације и коагулације се постиже емулгаторима

анјонске и катјонске емулзије (зависно од типа емулгатора)

по времену распадања и другим условима, анјонске се деле на: AN нестабилне (прскање),
AP полустабилне (мешавине отвореног типа),
AP-R полустабилне (мешавине отвореног типа које се могу складиштити) и AS стабилне (мешавине затвореног типа)

катјонске се деле на: KN нестабилне,
KP полустабилне, KP-R полустабилне и KS стабилне (употреба је као код анјонских емулзија)

емулзија се у додиру са агрегатом раздваја на битумен и воду која касније испарава

за камену ситнеж седиментних стена, примењује се анјонска емулзија, а за камену ситнеж еруптивних стена катјонска емулзија

- додаци битумену за побољшање карактеристика

катран (20-30 %)-губитак флексибилности, већа отпорност на чупање зрна и клизање

сумпор (0-50 %)-мања осетљивост на температуре

силикони (1-6 %)-мањи утицај влаге, пенушање у цистернама, ошвршћавање и сегрегација

вода (2 %)-боље обавијање агрегата

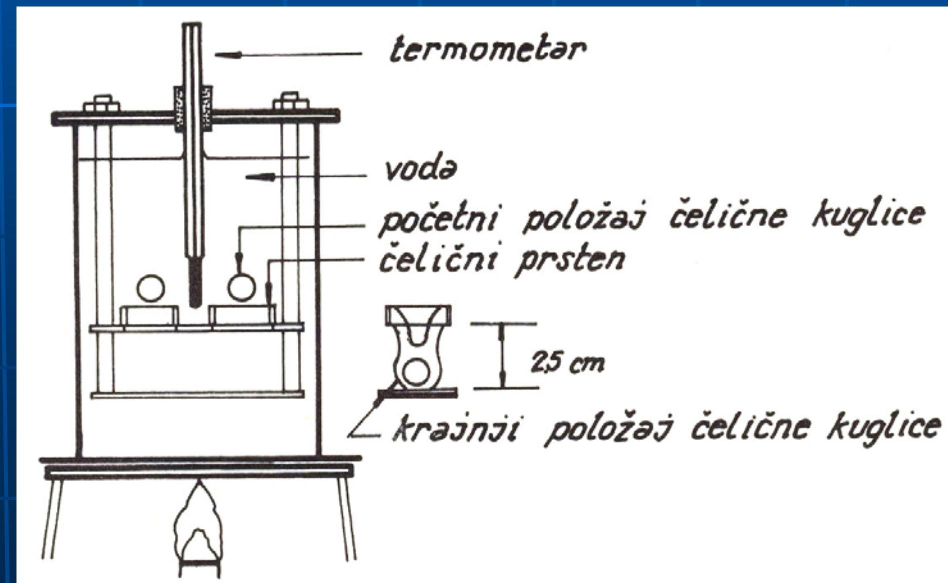
полимери-боља прионљивост и обавијање

везиво мора да поседује одређену конзистенцију при транспорту, распршивању и по уграђивању

мера конзистенције је вискозност

показатељи вискозности: тачка размекшавања, пенетрација, дуктилитет и вискозитет

- тачка размекшавања по прстену и куглици T_{pk} [°C] температура на којој слој битумена, тачно одређених димензија, под одређеним условима и оптерећењем челичне куглице, постиже одговарајућу деформацију



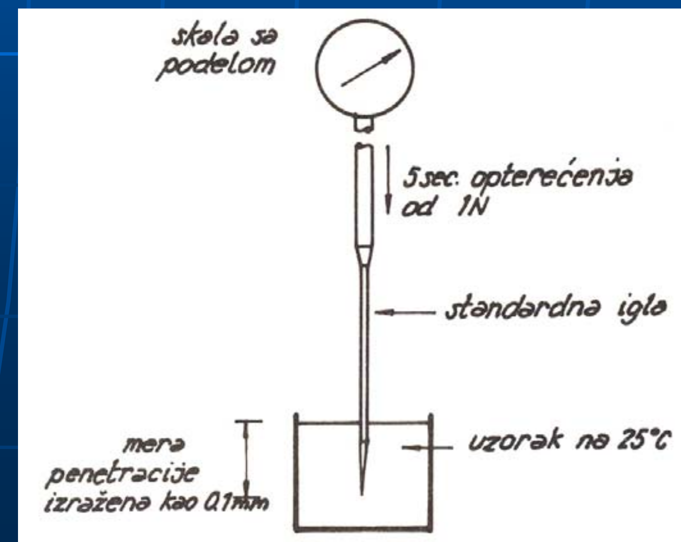
Опит размекшавања по прстену и куглици

код два битумена исте пенетрације, мању осетљивост на промену температуре има онај са већом тачком размекшавања

податак није значајан реолошки пошто температура не карактерише ниједно реално стање битумена од тренутка уграђивања до експлоатације

- пенетрација [pen°]

дубина, изражена у десетинама милиметара, до које стандардна игла вертикално продире у узорак битумена под оптерећењем од 1 N, за време од 5 s и при температури од 25°C



Опит пенетрације

класификација битумена се обавља према опиту пенетрације

пенетрација мања од 20 може бити један од узрока појаве пукотина у коловозу

најчешће се употребљава битумен пенетрације 60

индекс пенетрације је мера температурне осетљивости битумена

- дуктилитет [cm]

дужина до које се узорак битумена одређеног облика при температури од 25°C и брзини растезања од 5 cm/min може растегнути док се не прекине

битумен већег дуктилитета има већу адхезивност за агрегат и већу осетљивост на промену температуре

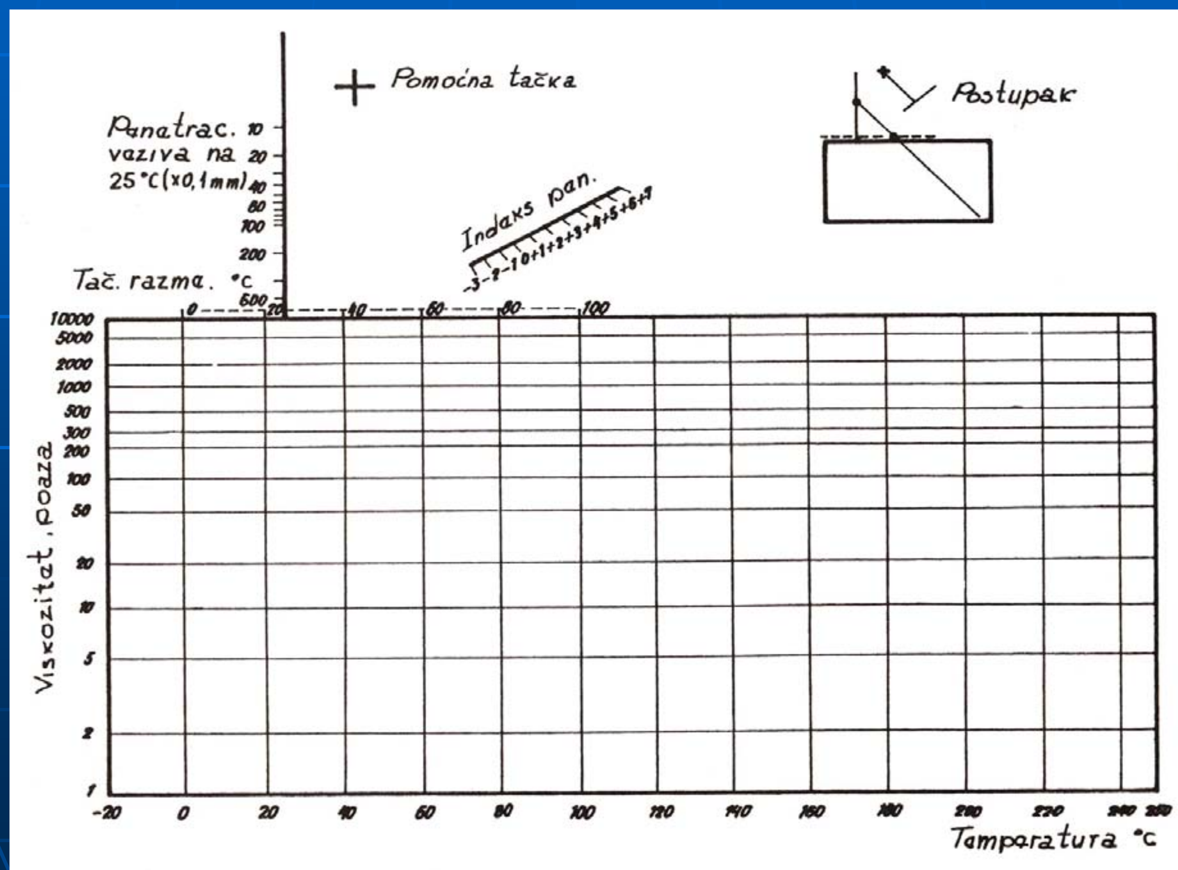


Опит дуктилитета

- вискозитет

способност течности да успорава течење

вискозитет битумена утиче на особине мешавине, везивање битумена за агрегат током справљања мешавине и др.



Дијаграм за одређивање вискозитета битумена

Крутост битумена-однос напона и деформације у зависности од температуре и трајања оптерећења

на ниским температурама и кратком времену трајања оптерећења највећа вредност чврстоће на лом износи око $3 \cdot 10^6$ N/m^2 и опада при дужем времену трајања оптерећења

при највећој крутости од $3 \cdot 10^9$ N/m^2 не постоји ризик од лома при дилатацијама мањим од 0,1 %

при већим дилатацијама не мора обавезно да дође до појаве лома, што зависи од крутости, односно трајања оптерећења и температуре

Пројектовање минералних мешавина

потребно је на располагању имати више величина зрна агрегата-фракција, да би се постигао одређени квалитет мешавине

уобичајене фракције:

- једноструко дробљени материјали (песак 0/2 и 0/8, камена ситнеж 2/6, 6/12 и 12/25, туцаник 25/40 и 30/50)

- вишеструко дробљени материјали (филер 0/0,09, песак 0/2, племенита камена ситнеж 2/5, 5/8, 8/12, 12/18 и 18/25)

за сваки тип мешавине прописане су граничне линије унутар којих би требало да се налази пројектована или уграђена минерална мешавина (добијене на основу статистичке обраде позитивних резултата)

пројектовање се ради пробањем

од гранулометријског састава зависи способност материјала да након збијања поседује одговарајућу стабилност и збијеност

учешће фракција агрегата је само оријентационо и лабораторијски се касније више пута проверава, и по потреби коригује

Пројектовање асфалтних мешавина

вруће мешавине могу бити: густе (шупљине испуњене ваздухом испод 8 %), полугусте (шупљине 8-12 %) и отворене (шупљине преко 12 %)

пројектовање се заснива на избору агрегата, пројектовању минералне мешавине, избору везива и одређивању оптималне количине везива

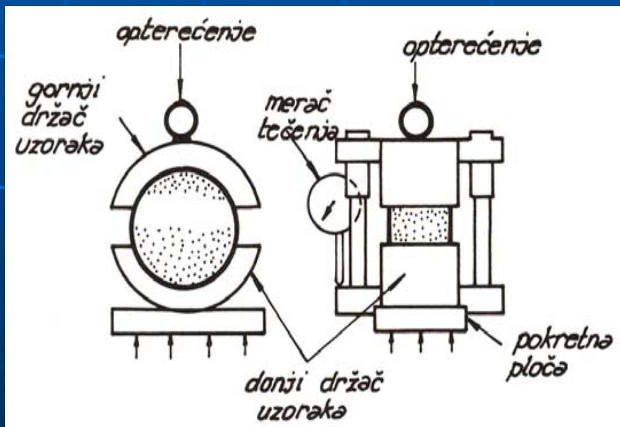
количина минералног агрегата у мешавинама је 90-95 % по маси или 75-85 % по запремини

- носивост коловоза првенствено зависи од особина агрегата
- погодност агрегата се одређује на основу испитивања величине зрна, гранулације, чврстоће, трајности, облика зрна, текстуре, апсорпције и прионљивости за битумен
- избор везива и његових карактеристика зависи од типа мешавине (асфалт бетонска, пешчана, ливена...), саобраћајног оптерећења, фактора средине (температура и влага) и карактеристика коловозне конструкције (дебљина слојева и њихова носивост)
- оптимална количина битумена се одређује на основу емпиријских или полуемпиријских метода
- избор најповољније мешавине се обавља на основу анализе стабилности, трајности, флексибилности, отпорности на замор, отпорности на клизање, непропустљивости и уградљивости

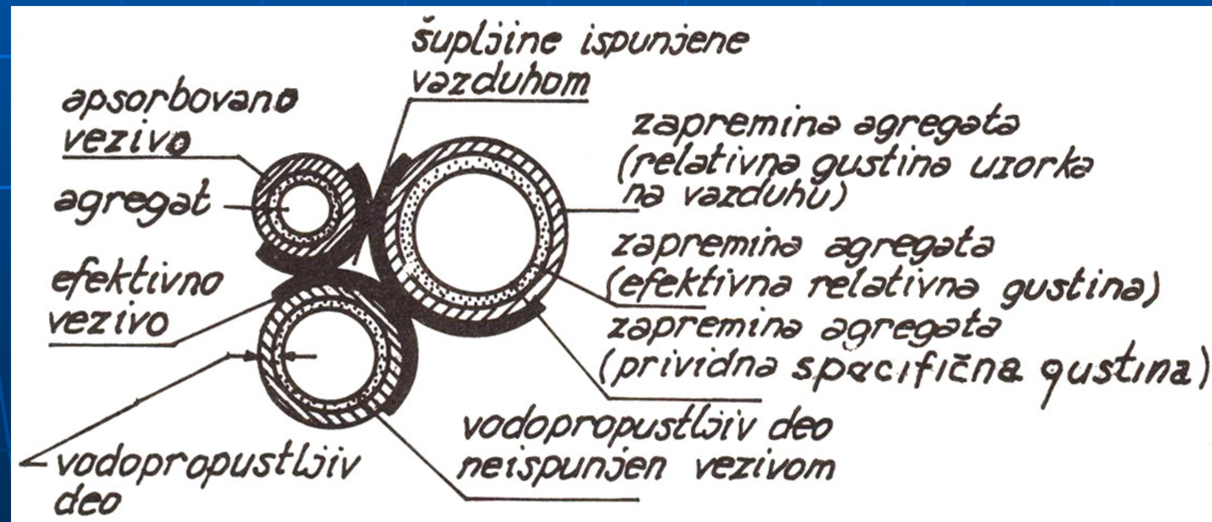
- принцип омотача-оптимална количина везива зависи од површине агрегата коју везиво треба да покрије (величина, облик и текстура зрна, апсорпција, гранулација, специфична маса, тип везива), методе Еквивалент центрифугираног керозина (Centrifuge Kerosene Equivalent Test-CKE) и Nebraska
- принцип шупљина-оптимална количина везива се одређује према количини шупљина између укљештених зрна агрегата у збијеној мешавини (зависи од гранулометријског састава и начина збијања), збијена мешавина мора да има заостале шупљине испуњене ваздухом због накнадног збијања од саобраћаја, еластичности и храпавости (2-3 %, максимално 7 %), методе Marshall, Hveem и Hubbard-Field

Marshall-испитивање чвстоће на притисак цилиндричних узорака при слободном бочном ширењу и брзини наношења оптерећења од 50,8 mm/min

максимално оптерећење [N] које узорак може да поднесе је стабилност по Маршалу, а постигнута деформација у тренутку лома је течење по Маршалу [mm]



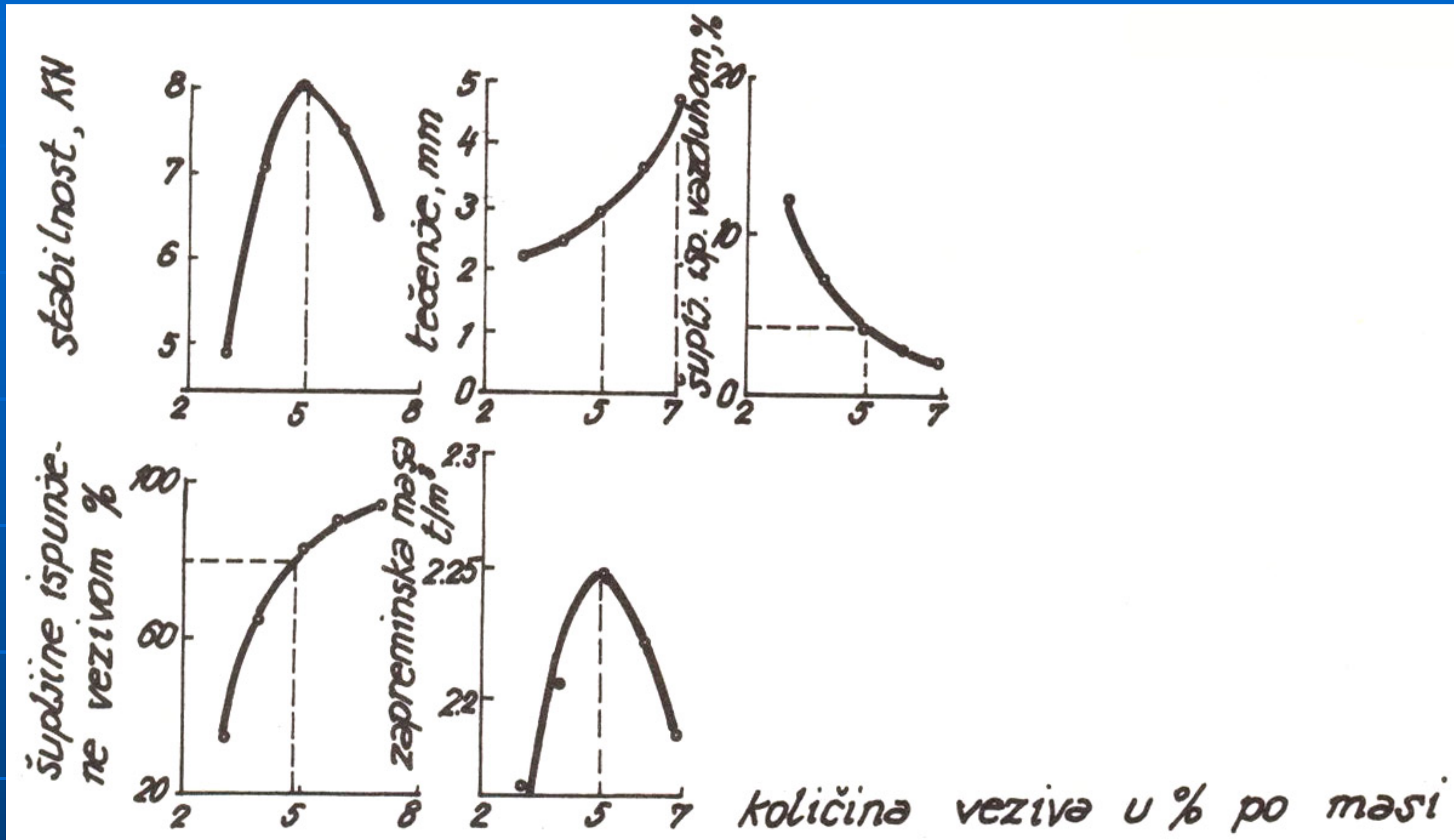
Апарат за мерење стабилности



Изглед асфалтне мешавине

кораци рада:

- израда серије узорака који се међусобно разликују за по 0,5 % битумена (висина 63,5 mm, пречник 101,5 mm, максимално зрно 25 mm)
- одређивање запреминске тежине спољне мешавине
- одређивање процента ваздухом испуњених шупљина
- одређивање шупљина испуњених везивом
- одређивање стабилности и течења
- кориговање стабилности, ако висина узорка одступа од стандардне
- одређивање оптималне количине везива, из услова максималне стабилности, максималне зепреминске масе, 2-4 % шупљина испуњених ваздухом, 76-82 % шупљина испуњених везивом и течења 0-5,5 mm



Резултати испитивања по Маршалу

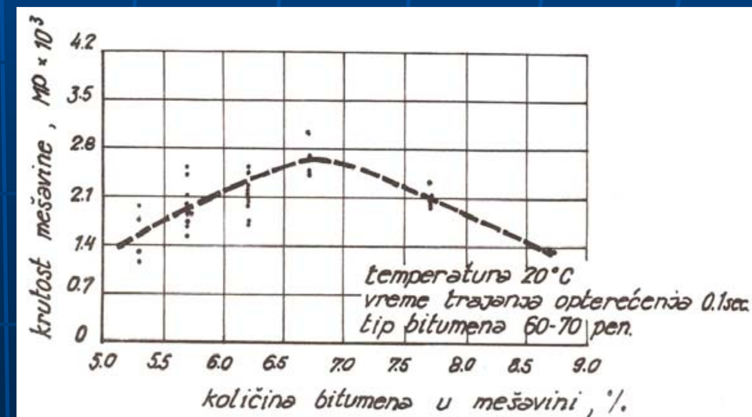
- провера оптималне количине везива, да ли одређена количина везива даје мешавину која задовољава критеријуме за одређени тип мешавине

Особине битуменом везаних материјала

најважније особине: стабилност, трајност, флексибилност, отпорност на замор, отпорност на трење, непропустљивост и уградљивост

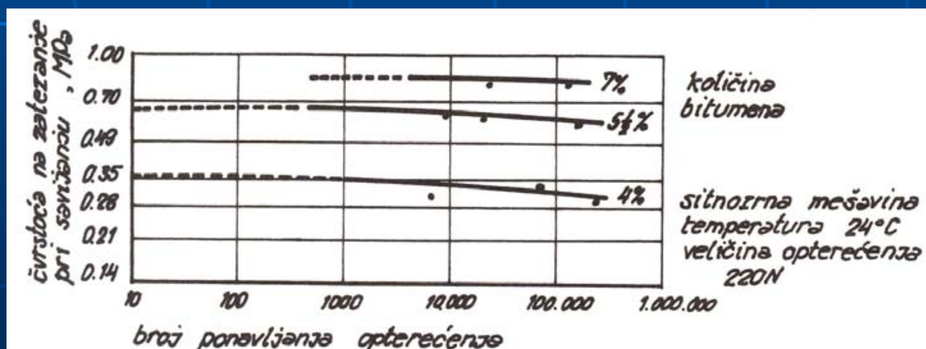
законитости:

- при краткотрајном оптерећењу, крутост је приближно константна и једнака модулу еластичности, са повећањем дужине трајања оптерећења и температуре крутост опада
- текстура агрегата има мали утицај на крутост
- количина везива знатно утиче на крутост

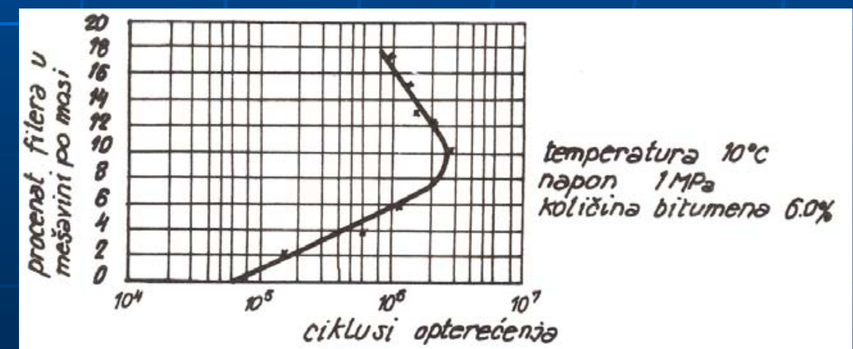


Утицај количине битумена на крутост асфалт бетона

- ситнозрне мешавине у односу на крупнозрне, због мањег садржаја шупљина и веће количине везива, имају већу отпорност на замор, крутост и чврстоћу на затезање
- количина каменог брашна има свој оптимум
- дробљени агрегат у односу на шљунковити даје већу стабилност мешавини
- шљунковито-песковите мешавине захтевају мање везива од дробљених мешавина
- најповољнији облик зрна агрегата је у коцкаст

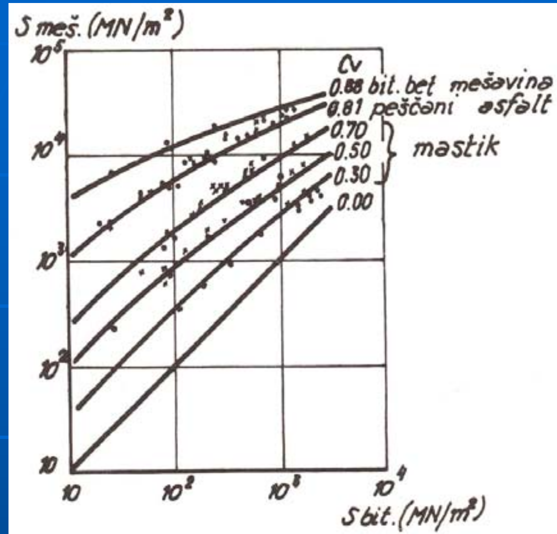


Утицај количине битумена на понашање при поновљеним оптерећењима



Утицај количине каменог брашна на замор асфалт бетона

у односу на димензионисање најважније особине су: модул крутости, дилатације при затезању и замор



Однос крутости битумена и мешавине за различите запреминске концентрације агрегата

на вишим температурама или дужем времену трајања оптерећења, када је $S_{bit} < 10\ MN/m^2$, утицај везива постаје мањи, а на важности добијају тип, текстура и гранулометрија агрегата, метода збијања и резултујући садржај шупљина, гранични услови

динамички модул и модул смицања битуменом везаних материјала добијених по врућем поступку опадају са повећањем температуре

Poisson-ов коефицијент се повећава директно са повећањем количине битумена

утицај шупљина на крутост постаје значајан тек за температуре изнад 27°C

модуо крутости се одређује експериментално или емпиријски

до лома коловозне конструкције најчешће долази због превеликих трајних деформација за време лета, када се површина загреје до 50-60°C, што најчешће превазилази могућности еластичног понашања

трајне деформације се појављују у облику колотрага

одређују се статичким и динамичким опитима и емпиријски

- ✓ цементом везани материјали

  користе се за круте коловозне конструкције

  основне компоненте: везиво, агрегат и вода

  Везива:

  силикатни и алуминатни цементи-према минералошком саставу

  портланд цемент, портланд цемент са додатком згуре, портланд цемент са додатком пуцолана, портланд цемент са додатком згуре и пуцолина, металуршки цемент, пуцолински цемент-према својству и намени

  портланд цемент се састоји од креча, силицијума, алуминијума и оксида гвожђа и добија се млевењем портланд цемент клинкера са додатком сидровца и евентуално помоћним средствима за млевење

цементи се сврставају у класе квалитета према минималним чврстоћама на притисак епрувета старих 28 дана (25, 35, 45, 55)

квалитет цемента се одређује на основу испитивања специфичне масе, запреминске тежине, чврстоће на затезање при савијању, чврстоће на притисак, активности цемента у бетону, очвршћавања цемента

Пројектовање минералних мешавина

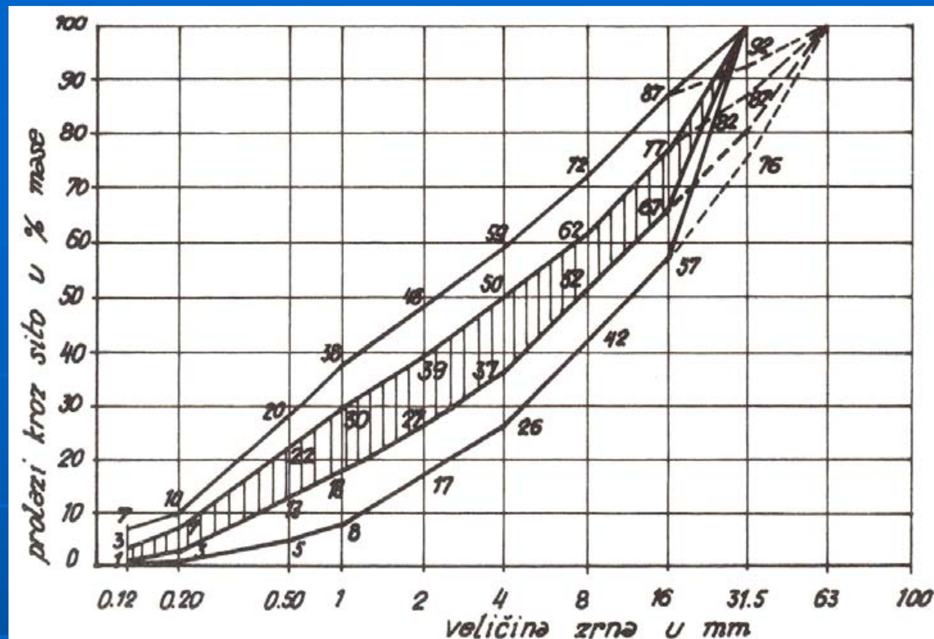
употребљава се агрегат у фракцијама

принцип компоновања мешавине је исти као код асфалт бетона

основне фракције: 0-4, 4-8, 8-16 и 16-31,5 mm

најбитније особине агрегата су трајност и чврстоћа

по правилу засторе не треба правити са кречњачким агрегатом (брзо глачање и губитак храпавости)



Гранулометријски састав минералне мешавине

- композиција мешавине треба да буде таква да се обезбеди повољна уградљивост и компактност бетона
- ако се плоча ради у више слојева, завршни се ради од ситнозрне мешавине, због лакшег постизања равности и затвореније површине и од агрегата отпорних на притисак и температуре (гранит, дијабаз, кварц, порфирит, чврсти кречњак)

доњи слојеви се могу радити од песковито-шљунковитог материјала или дробљеног агрегата са чвстоћом на притисак већом од 80 Мра

зрна величине испод 0,2 mm задржавају воду у бетону, омогућавају повезивање масе (спречавају одвајање крупних зрна), утичу на чврстоћу и обрадивост бетонске масе, побољшање услова за транспорт и уграђивање масе

Пројектовање бетонских мешавина

основни кораци: одређивање водоцементног фактора, потребне конзистенције, највећег зрна агрегата, количине воде у мешавини, учешћа појединих фракција агрегата у минералној мешавини

вода не сме имати штетних материја (органске и растворљиве соли)

водоцементни фактор се креће од 0,4 до 0,6

са смањењем фактора до границе оптималног постиже се већа чврстоћа

доња граница зависи од потребне количине воде за хидратацију цемента и износи 0,24, али је она недовољна за уградљивост и добро обавијање зрна агрегата

додаци:

- агенси за аерирање или увлачење ваздуха (порозност бетона и отпорност на мржњење и отапање, агресију сулфата, повећање пластичности и уградљивости, смањење количине воде)

- убрзивачи-акцелератори (убрзање очвршћавања)

- успоривачи-ретардери (успоравање времена везивања цемента, за бетонирање при вишим температурама и у више слојева)

Особине бетона

са гледишта димензионисања, најважније особине: чврстоћа, дозвољени напони, деформационе карактеристике

чврстоћа на притисак се дефинише марком бетона (захтевана чврстоћа при притиску бетонске коцке ивица 20 cm, справљене, неговане и испитане по прописаним условима, 28 дана после бетонирања, MB10, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 55 и 60)

чврстоћа на притисак (чисто затезање, цепање, лом по супротним изводницама, савијање)

дозвољени напони зависе од марке бетона и врсте напона-најинтересантнији је дозвољени напон на затезање при савијању (просек 4,8 MPa)

деформације настају од дејства оптерећења, принудних деформација, промена температуре и скупљања

показатељи деформабилности бетона: модуо деформације, модуо смицања, Poisson-ов коефицијент и коефицијент линеарне термичке дилатације

- ✓ стабилизације

обрада тла или материјала у подлози ради значајнијег побољшања чврстоће, носивости и смањења осетљивости на воду и промену запремине у току цикличног влажења и сушења

основна стабилизациона средства: цемент, битумен, креч, лебдећи пепео, гранулисана згура, синтетичке смоле

најчешће методе: механичка, цементна, битуменска, кречна

Параметри утицаја на коловозну конструкцију

- ✓ на коловозну конструкцију делују саобраћајно оптерећење и фактори средине
- ✓ утицај средине се манифестује преко утицаја на физичко-механичке особине материјала у саставу коловозне конструкције (чврстоћа и притисак), међусобне односе материјала (трајност везе, време физичко-хемијске дезинтеграције), промену запремине и резултујуће унутрашње напоне
- ✓ најважније је дејство температуре и воде

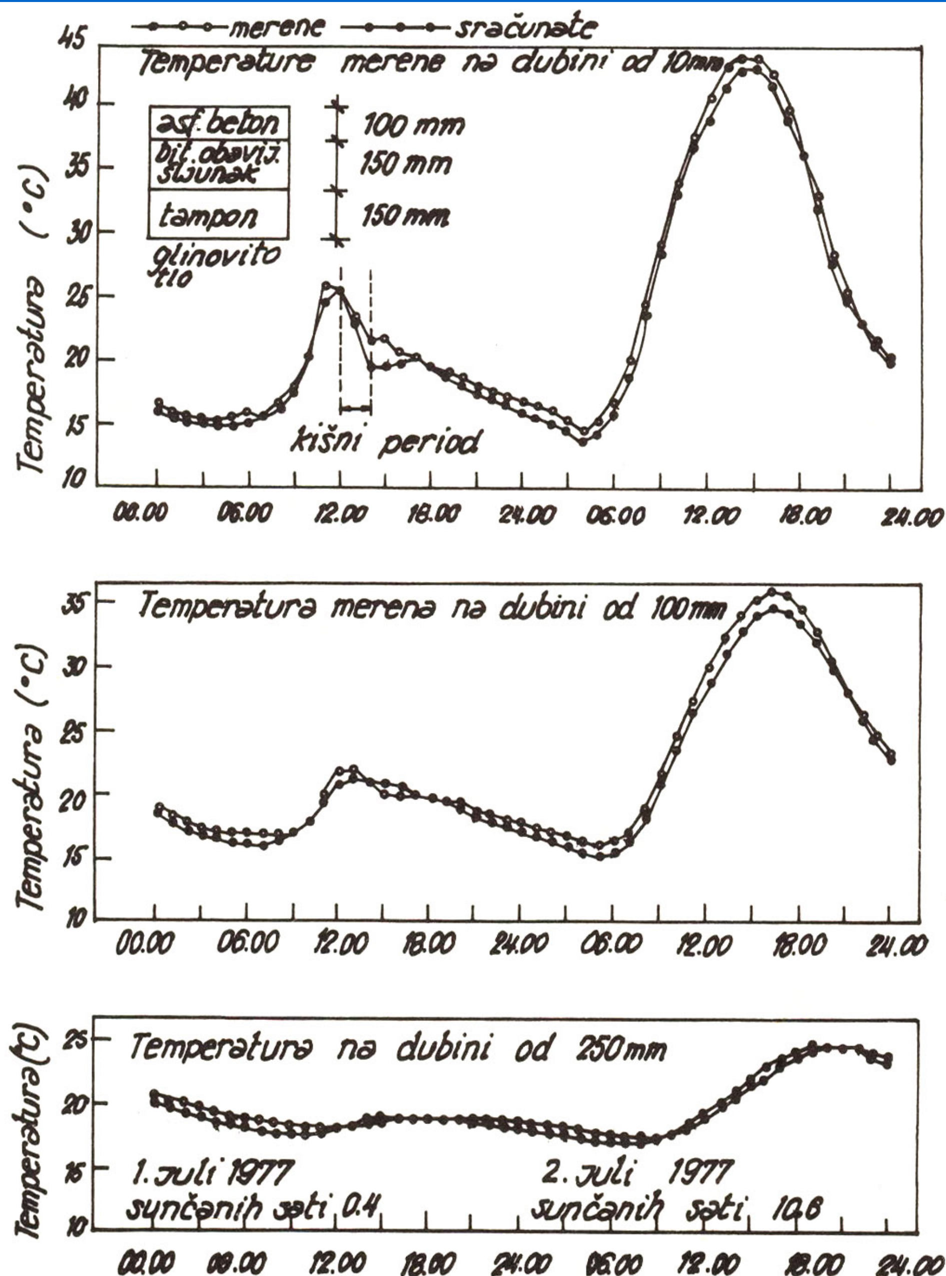
- ✓ преношење температуре кроз коловозну конструкцију

  параметри зависности: специфични топлотни капацитет по јединици запремине и термичка проводљивост за различите слојеве конструкције, коефицијент рефлексије сунчеве радијације од површине застора, ниво посматране тачке у коловозу и величина временског интервала, температура на дну везаних слојева, почетна температура застора и постељице

  температура у коловозној конструкције се најчешће региструје на сваких 10 mm и на 1 m изнад површине, у временским интервалима од 1 часа

  теоријски, експериментално, емпиријски

  промена температуре у току времена је синусиодна



Температуре у коловозној конструкцији

температура тла се, на 1 m дубине у току зимских месеци, креће од 7°C до 11°C

утицај температуре на битуменом везане материјале се манифестује преко промене модула крутости (носивост), а на цементом везане материјале преко настајања термичких напона

при оштрим зимама (температуре ниже од -15°C) може доћи до термичких напона и у флексибилним коловозним конструкцијама

- ✓ продирање мраза кроз коловозну конструкцију

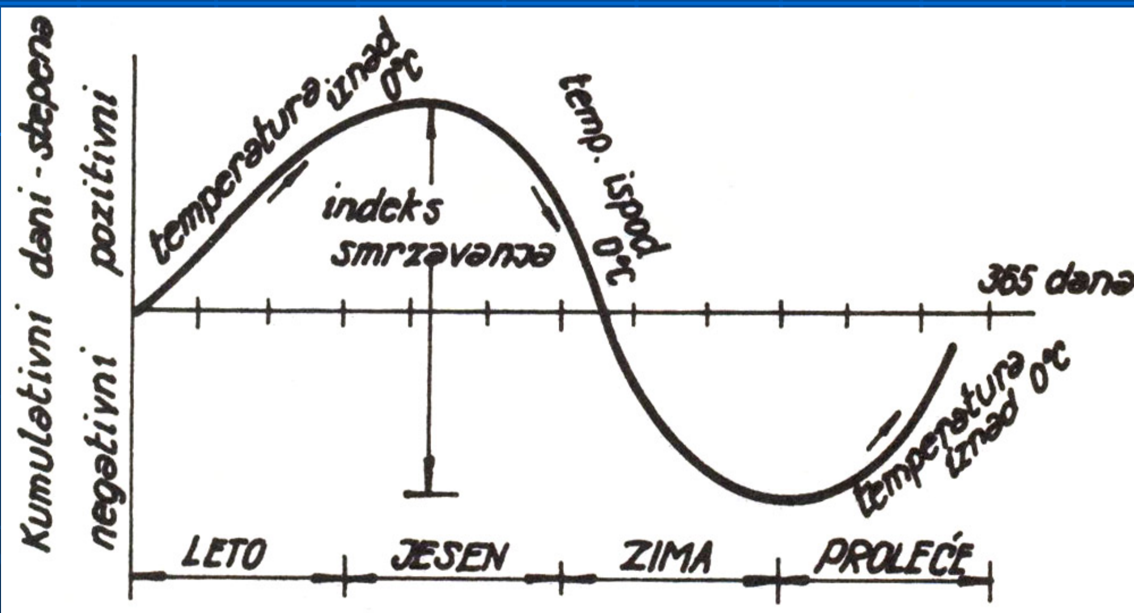
у периоду смрзавања долази до формирања кристала леда, повећања запремине и издизања застора

у периоду одмрзавања кристали леда се топе, мењајући влажност и запремину, што доводи до трајних деформација и лома коловоза

смрзавање зависи од трајања ниских температура

температура и дужина њеног трајања се изражавају у dan-stepeni-ма (1 dan-stepen представља један дан са средњом температуром ваздуха од 1°C испод температуре смрзавања; 10 dan-stepeni може значити 10 дана са температуром од -1°C или 1 дан са температуром од -10°C)

разлика минимума и максимума на дијаграму dan-stepeni даје индекс смрзавања



Одређивање индекса смрзавања

дубина дејства мраза у униформној средини

$$Z = \lambda \cdot \sqrt{\frac{10.000 \cdot k \cdot F}{L}} \quad [cm]$$

k - термичка проводљивост [W/cm°C]

F - индекс смрзавања [dan-stepen]

L - латентна запреминска топлота-количина топлоте која се ослобађа при замрзавању јединице запремине тла [J/cm^3]

λ - корекциони коефицијент

- оптерећење

утицај оптерећења се разматра преко:

броја и размака осовина возила

величине оптерећења које се преноси преко појединих точкова возила

величине и облика додирне површине између точкова возила и коловоза

расподеле оптерећења на додирној површини

укупног броја појединих осовинских оптерећења

расподеле саобраћајног оптерећења у попречном профилу коловоза

времена трајања оптерећења у појединим слојевима коловозне конструкције изазваног прелазом точкова возила

Оптерећење на путевима

- основне групе возила: путничко (путнички аутомобил, путничка возила са максимално осам седишта за путнике без возача, комбинована возила) и теретно (аутобуси, теретна возила, специјална возила, радна возила, војна возила)
- максималне димензије и масе теретних возила се ограничавају националним прописима
- за утврђивање саобраћајног оптерећења меродавна су репрезентативна теретна возила (лако теретно, средње тешко, тешко са једноструком осовином, тешко са двоструком/тандем осовином, тешко са приколицом и једноструком осовином, тешко са приколицом и двоструком осовином, аутобус)
- осовине могу бити једноструке и двоструке/тандем и са једним или два пара точкова, изузетно три, четири или пет осовина са више точкова по осовини

највеће дозвољено осовинско оптерећење је 80-100 kN, а за двоструке осовине 125-180 kN

растојање двоструких осовина је 100-135 cm

растојање осовина точкова у тандему (на једној осовини) око 34 cm

притисак у пнеуматицима 0,42-0,7 MN/m^2

најчешћа стандардна оптерећења која се користе у димензионисању су 80 kN по једнострукој осовини и по два точка са обе стране, 100 kN по једнострукој осовини и 160 kN по двострукој/тандем осовини

Коефицијент еквивалентног оптерећења

однос утицаја на одређену коловозну конструкцију које изазива неко возило при пролазу и унапред изабрано стандардно возило од 80 kN по осовини

коефицијент еквиваленције за једноструке осовине

$$f_e = 2{,}441 \cdot 10^{-8} \cdot L_1^4$$

коефицијент еквиваленције за двоструке осовине

$$f_e = 1{,}975 \cdot 10^{-8} \cdot L_2^4$$

$L_{1,2}$ - оптерећење једноструке, двоструке осовине [kN]

постоје већ унапред табеларно одређени коефицијенти, и то посебно за флексибилне и круте коловозне конструкције, а и коефицијенти из AASHO опита за обе врсте конструкција

Контактно оптерећење

величина оптерећења по точку утиче на напонска стања, а број понављања до замора

величина оптерећења по точку је на првом месту по важности утицаја

код теретних возила додирна површина се апроксимира кругом са једнако расподељеним оптерећењем по тој површини

$$r = \sqrt{\frac{P}{p \cdot \pi}} \quad [m]$$

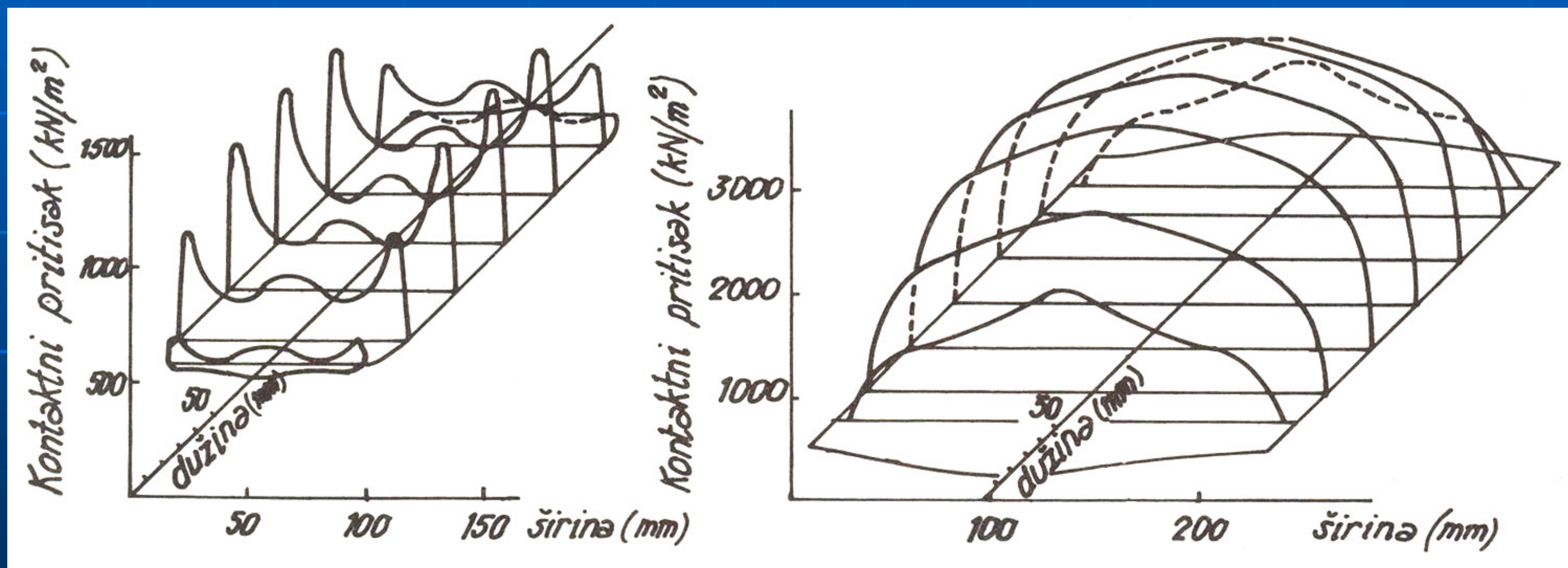
P - оптерећење [kN]

p - једнако подељен притисак по додирној површини [kN/м^2]

контактно оптерећење и притисак у пнеуматику су практично идентични

притисак у пнеуматицима 0,15-0,7 MPa

строго гледајући, оптерећење није једнако подељено, већ је код путникиx возила веће на ободима пнауматика, а код теретних у средини контактне површине



Расподела контактног оптерећења на коловозну конструкцију од путничког и теретног возила

Еквивалентно саобраћајно оптерећење

број прелаза осовина са еквивалентним оптерећењем кроз одређени пресек саобраћајне траке у посматраном интервалу времена

$$ESO = D_D \cdot D_L \cdot eso$$

D_D - коефицијент расподеле саобраћаја по смеровима, обично 0,5 (50 % по смеру), а може се кретати од 0,3 до 0,7

D_L - коефицијент расподеле саобраћаја по тракама код путева са више трака по смеру

eso - збирно еквивалентно саобраћајно оптерећење у оба смера које се очекује на одређеној деоници пута у оквиру пројектног периода, одређује се на основу тренутног саобраћаја коригованог факторима раста или неким очекиваним променама

- пројектна трака је саобраћајна трака на којој се очекује највећи број еквивалентних саобраћајних оптерећења
- пројектни периоди

врста пута	пројектни период [god]
градски путеви са већим оптерећењем	30-50
вангрaдски путеви са већим оптерећењем	15-25
мало оптерећени путеви	15-25
мало оптерећени путеви са засторима од невезаних материјала	10-20

Димензионисање коловозних конструкција

- међусобно зависне активности:

  одређивање дебљине и састава појединих слојева коловозне конструкције

  дефинисање захтева за квалитетом и саставом појединих мешавина у слојевима коловозне конструкције

  дефинисање квалитета употребљених материјала у постељици

  утврђивање технологије радова

  анализа трошкова грађења и одржавања коловозне конструкције

  упоређење варијантних решења и избор оптималног састава и дебљине слојева са аспекта стратегије коришћења и управљања путевима

- групе метода за димензионисање

  емпиријске и полуемпиријске (стечена искуства, резултати опита на терену или лабораторији, задовољавају док услови оптерећења и особине материјала одговарају предвиђеним анализама и не подлежу променама у будућности, не обухватају примену нових материјала; Енглеска метода, метода Калифорнијског индекса носивости, Француска метода, Немачка метода)

  аналитичке или теоријске (анализа напона и деформација у слојевима коловозне конструкције у зависности од оптерећења и фактора средине, могућност поређења резултата и анализа фактора који делују на конструкцију)

- ✓ фактори који утичу на димензионисање

  оптерећење (укупна маса возила, оптерећење по точку, број и размак точкова, контактно оптерећење, трајање оптерећења, распоред оптерећења по саобраћајним тракама, тип оптерећења-статичко или динамичко)

  природна средина (максималне, минималне и просечне температуре, количина падавина, влажност, ниво подземне воде)

  конструктивне карактеристике (број, дебљина и врста слојева, чврстоће материјала)

  грађење (технологија грађења)

  одржавање

  ниво услуге, безбедност и економичност

- ✓ методе димензионисања

  - флексибилне коловозне конструкције

  метода Америчког друштва за јавне путеве и транспорт-AASHTO

  метода Института за асфалт САД

  метода SHELL

  - круте коловозне конструкције

  метода Вестергарда (Westergaard)

  метода Пикета и Реја (Pickett & Ray)

  метода Америчког друштва за јавне путеве и транспорт-AASHTO

  метода Удружења за портланд цемент-PCA

  метода коначних елемената

Димензионисање флексибилних коловозних конструкција

Метода AASHTO

резултати AASHTO опита обављених у држави Илиноис (1959-1960)

меродавни параметри за димензионисање:

- период трајања до првог ојачања (време од пуштања у саобраћај до првог ојачања или између два ојачања, најчешће 10 или 15 година, најмање 5)
- пројектни период (временско раздобље за које се конструкција пројектује, 10-50 година у зависности од важности пута)
- саобраћај (укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду, за возну траку која се димензионише, број прелаза стандардног возила од 80 kN по осовини)

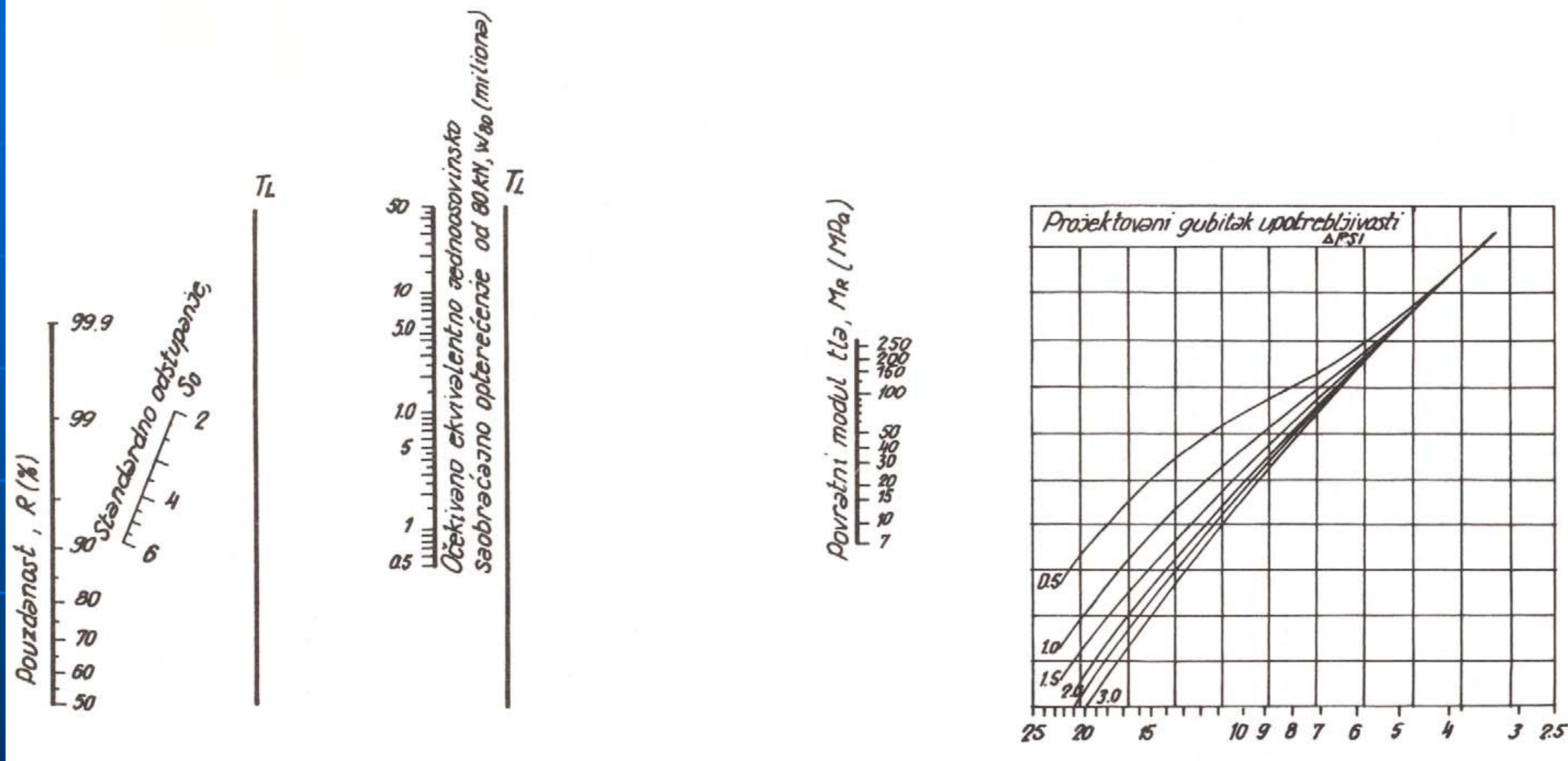
- поузданост (вероватноћа да ће коловозна конструкција на крају пројектног периода и у датим условима средине поседовати индекс употребљивости већи или једнак од пројектованог)
- утицај средине (губитак употребљивости услед дејства мраза и бубрења-издизање тла у постељици)
- критеријуми квалитета (индекс употребљивости-од 0 за разорен коловоз до 5 за коловоз у одличном стању, величина колотрага-дозвољена величина на засторима од невезаних материјала 2,5-5 cm, али за засторе од битуменом везаних материјала нису обухваћени и одношење агрегата-изгубљена висина застора у пројектном периоду за засторе од невезаних материјала)

- особине материјала (невезани материјали-еластични или повратни модул, калифорнијски индекс носивости, модул деформације, модул стишљивости; везани материјали-коефицијенти слојева a_i и коефицијенти одводњавања за корекцију коефицијената слојева горње и доње подлоге од невезаних материјала m_i)

димензионирање (графо-аналитички поступак, рачунарски програм (нпр. FLEX-PAVE)):

на основу одређеног конструктивног броја SN одређује се дебљина D_i појединих слојева коловозне конструкције (застор, горња и доња подлога), и то пробањем или рачунским поступком

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$



Дијаграм за одређивање конструктивног броја коловозне конструкције

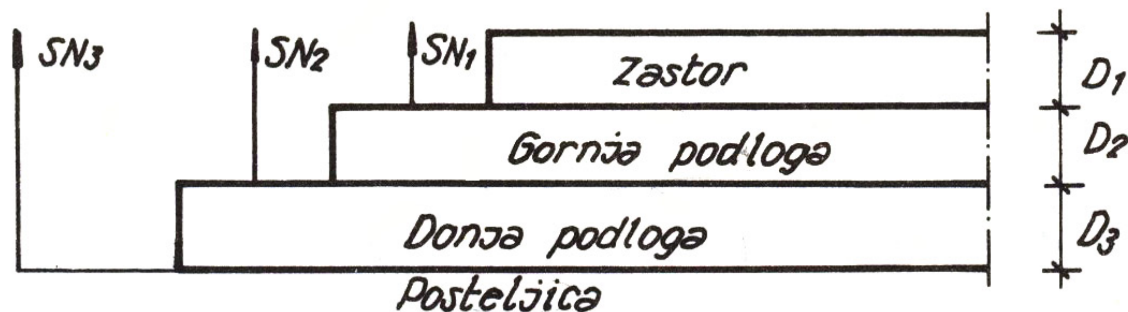
$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$



Рачунски поступак одређивања дебљине слојева

a, D, m и SN су минималне потребне вредности

звездице уз D и SN означавају стварно употребљене вредности, које морају бити веће или једнаке у односу на потребне вредности

добијене вредности дебљина слојева се могу, помоћу коефицијената замене-слојева, претворити у друге, зависно од приступа пројектанта, усвојених врста слојева коловозне конструкције, материјала, потреба конструкције

Метода Института за асфалт САД

искуства опита AASHO и WASHO, експеримената у Енглеској, методе Инжењерског корпуса војске САД, владиних агенција САД, нумеричких поступака

коловозна конструкција се посматра као вишеслојни еластични систем

особине материјала се представљају модулом еластичности и Poisson-овим коефицијентом

саобраћај се изражава преко броја понављања једноосовинског оптерећења од 80 kN (две групе тандем точкова по осовини)

h_1, E_1, v_1	zastor od asfalt betona
h_2, E_2, v_2	podloga od bitumenom vezanih materijala
∞, E_{sq}, v_{sq}	posteljica

Full-depth коловозна конструкција- сви слојеви од битуменом везаних материјала

h_1, E_1, v_1	zastor od asfalt betona
h_2, E_2, v_2	gornja podloga od asfalt betona
h_3, E_{qb}, v_{qb}	gornja i donja podloga od materijala koji nisu vezani bitumenom (nevezanih materijala)
∞, E_{sq}, v_{sq}	posteljica

Коловозна конструкција са слојем од невезаног материјала

за димензионирање су критичне две дилатације настале од оптерећења возила:

- хоризонтална дилатација при затезању ε_t настала у најнижем битуменом везаном слоју-прекорачење изазива пукотине
- вертикална дилатација при притиску ε_z на површини постељице-прекорачење изазива трајне деформације

димензионисање:

- графички поступак-дијаграми у зависности од типа конструкције и подлоге
- рачунарски програм DAMA-провера усвојених вредности дебљина слојева у односу на дозвољене деформације и замор, праћење месечних промена напонских стања и разарања

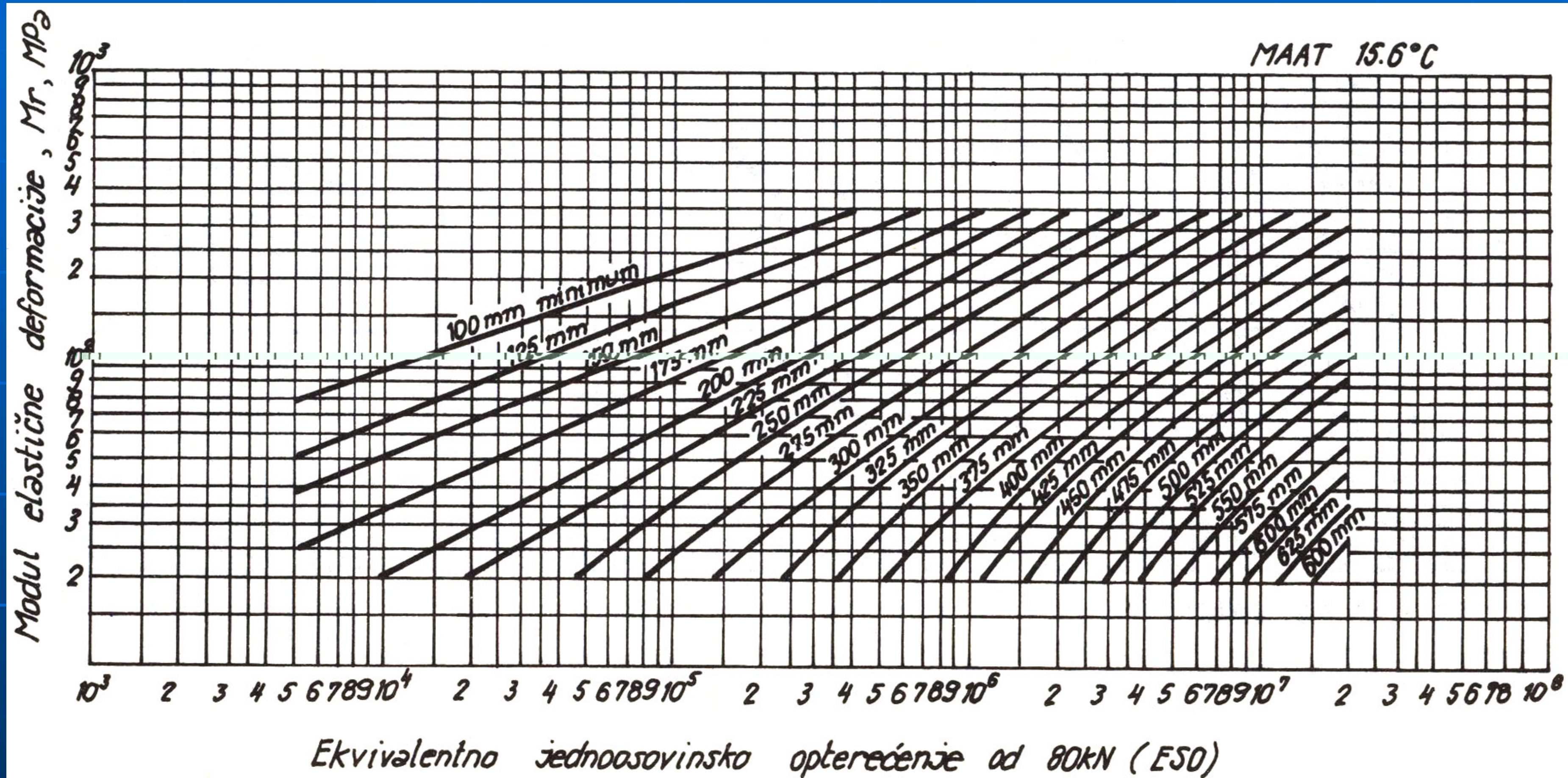
разматрају се три типа битуменом везаних материјала:

I-асфалт бетонске мешавине и њима сличне

II-битуменизиране мешавине од шљунковитог или дробљеног агрегата

III-битуменом стабилизоване мешавине

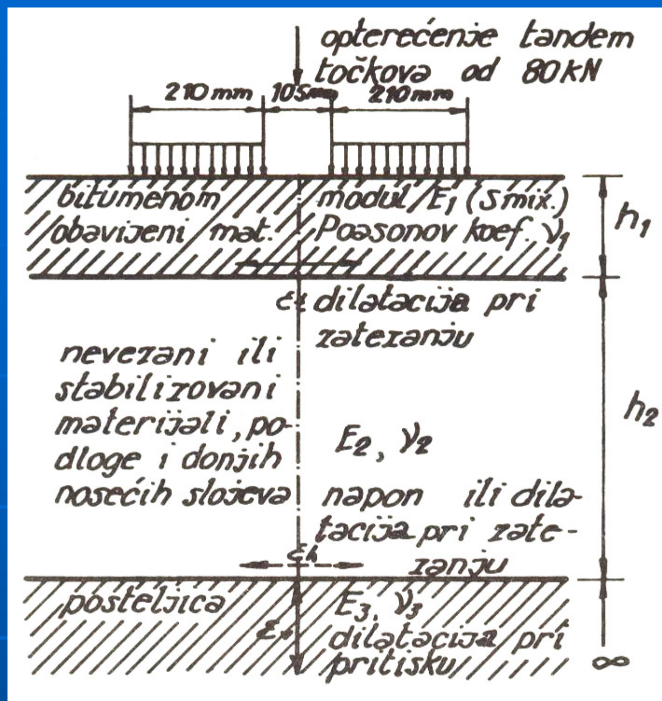
за типове II и III потребно је на површини поставити застор од асфалт бетона са дебљинама које зависе од величине саобраћајног оптерећења (50-130 mm), али та дебљина улази у дебљину асфалтних слојева добијену преко дијаграма



Пример дијаграма за одређивање дебљине битуменом везаног слоја

Метода SHELL

- коловозна конструкција је линеаран еластичан вишеслојни систем
- карактеристике материјала су представљене модулом еластичности и Poisson-овим коефицијентом
- материјал је хомоген и изотропан
- саобраћај се изражава преко стандардног пројектног оптерећења које делује вертикално или хоризонтално на површину
- век трајања коловоза се претпоставља као збирни број осовина које он може да прихвати у току експлоатације
- поступак димензионисања: избор таквих дебљина слојева код којих неће у критичним тачкама, под дејством возила, бити прекорачене дозвољене деформације



Упрошћена шема коловозне конструкције

критеријуми за димензионисање:

- превелике вертикалне деформације на површини коловоза изазивају нагомилавање мањих трајних деформација на површини застора, које касније доводе до трајних деформација и лома коловоза
- до лома у слојевима од битуменом везаних материјала може доћи због понављања оптерећења-замора и прекорачења еластичних хоризонталних дилатација

димензионисање:

- графички поступак-низ дијаграма код којих увек постоји само једна променљива вредност, а као резултат се добијају дебљине невезаних слојева и укупна дебљина битуменом везаних слојева
- рачунарски програм BISAR-провера усвојених вредности дебљина слојева у односу на дозвољене деформације и замор

Димензионисање крутих коловозних конструкција

фактори утицаја: саобраћај (величина и број понављања оптерећења), климатски услови (температура и влажност), подлога (тип и носивост), спојнице (тип и растојање), очекивани квалитет коловозне конструкције и одржавање

димензионисање се састоји од одређивања дебљине бетонске плоче и подлоге и димензионисања спојница

анализирани напони:

- напони при извијању плоче настали због разлике у температурама на површини и дну бетонске плоче и напони при витоперењу настали због разлике у влажности

- напони при трењу између плоче и подлоге, настали због ширења и скупљања бетонских плоча

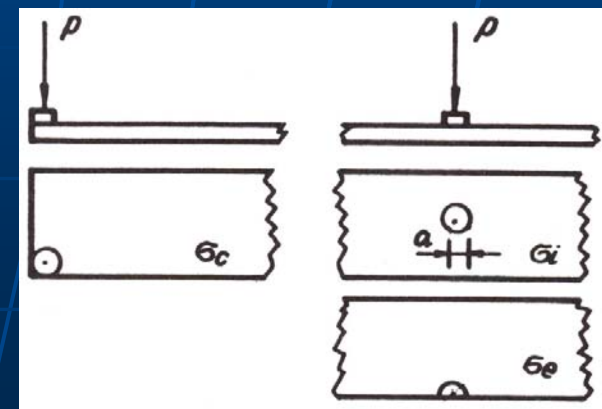
- притајени напони, који могу настати због испуњавања спојница недозвољеним материјалима или пумпања воде испод плоче

- напони од оптерећења возила

Метода Вестергарда

основне поставке методе:

- бетонска плоча се понаша као хомогено, изотропно и еластично тело у равнотежи
- реакција постељице је само вертикална и пропорционална угибу плоче
- реакција постељице по јединици површине у било којој тачки је једнака производу константе K и угиба у одговарајућој тачки, независно од угиба и положаја
- дебљина плоче је непроменљива
- оптерећење плоче се преноси равномерно преко кружне или елиптичне површине



Карактеристични положаји оптерећења

димензионисање:

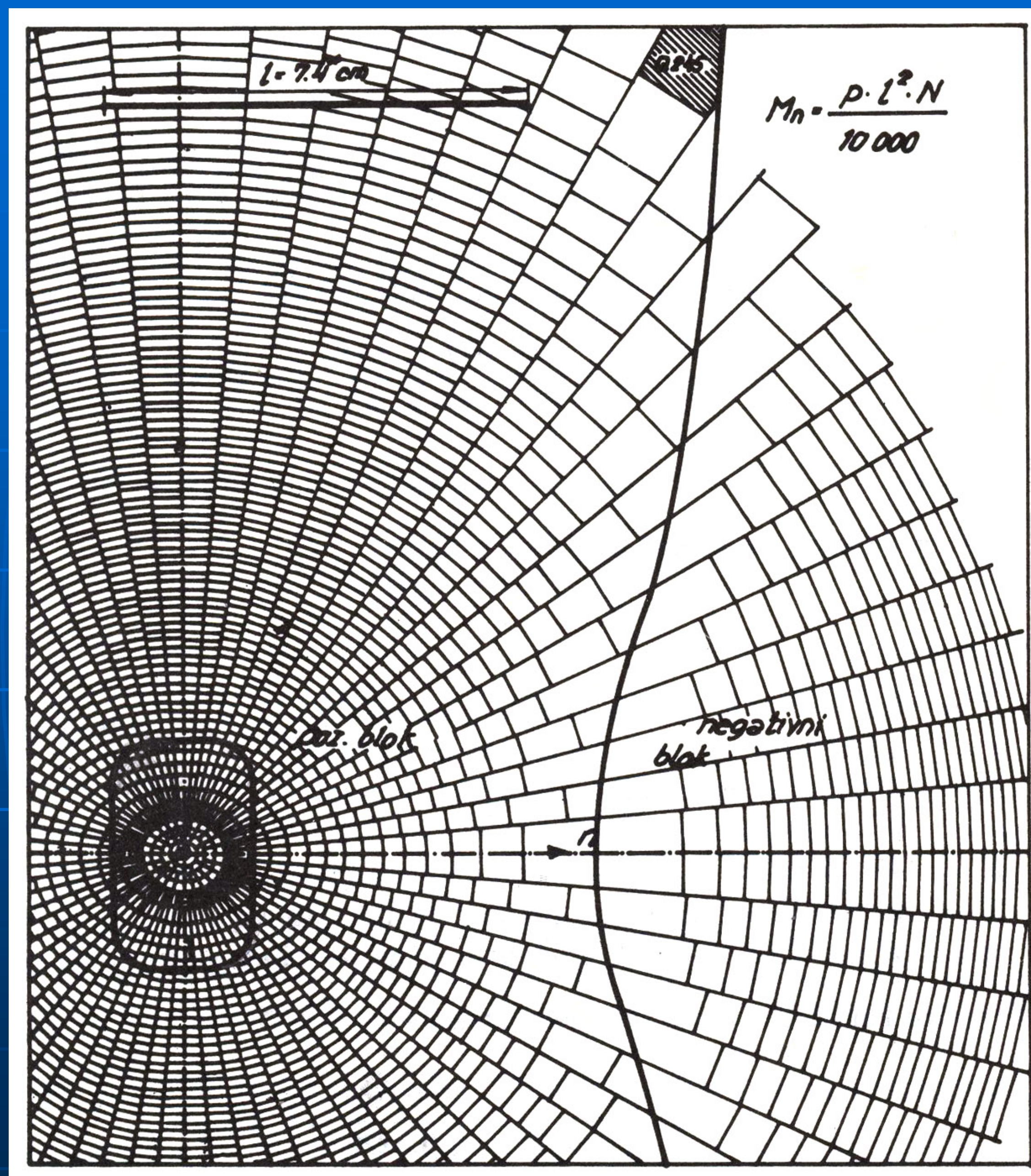
провера величине напона на затезање (σ_i-напон на доњој страни плоче од оптерећења које делује унутар плоче, σ_e-напона на доњој страни плоче од оптерећења које делује на ивици, σ_c-напон на горњој страни плоче од оптерећења које делује у углу) у односу на усвојену дебљину плоче

Метода Пикета и Реја

основне поставке методе су идентичне као за методу Вестергарда

провера напона на затезање на доњој страни плоче у односу на усвојену дебљину плоче

утицај саобраћајног оптерећења се узима у обзир преко величине утицајне површине одређене на дијаграму Пикета и Реја



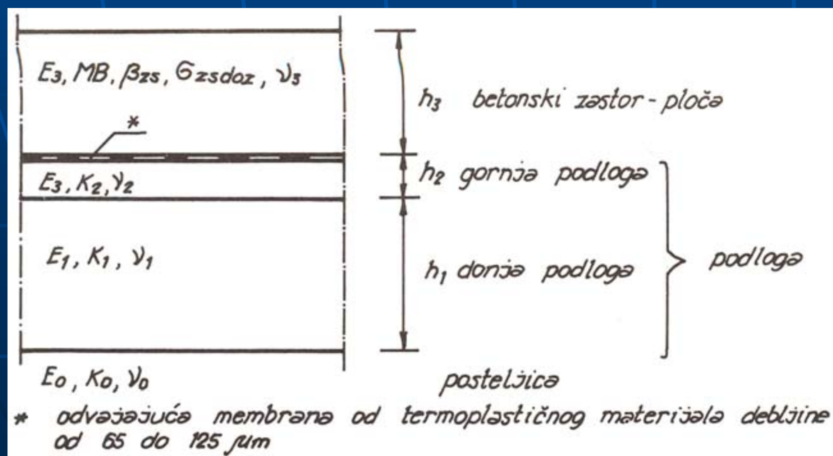
Дијаграм Пикета и Реја

Метода AASHTO

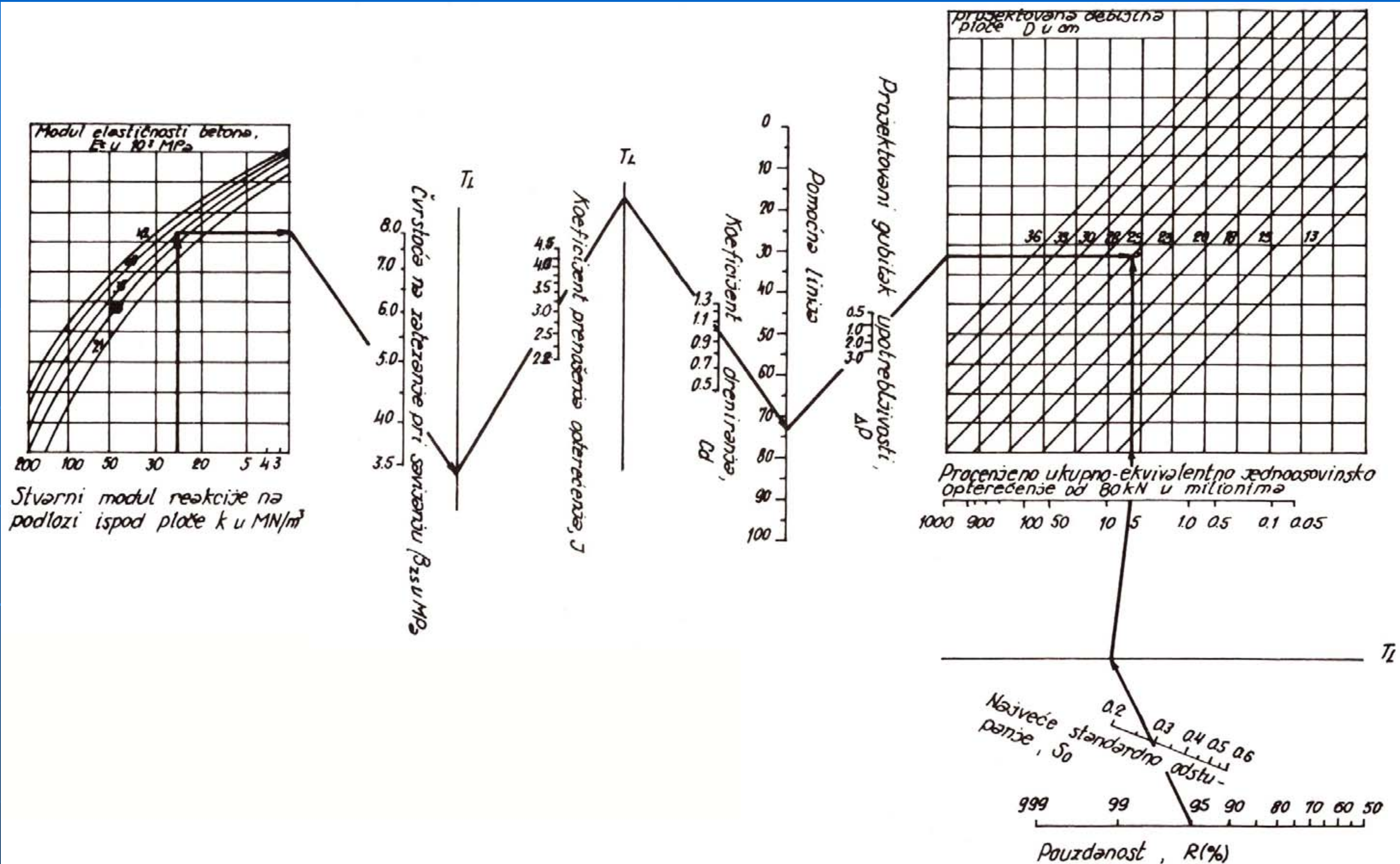
резултати AASHTO опита обављених у држави Илиноис (1959-1960) и радови Вестергарда, Пикета, Реја и Спенглера

меродавни параметри за димензионисање су идентични параметрима исте исте методе за флексибилне коловозне конструкције, али се узима у обзир армирање и могућност преношења оптерећења преко прекида као што су спојнице или пукотине

димензионисање (графо-аналитички поступак, рачунарски програм (нпр. KR-KOL))



Рачунска шема претпостављене коловозне конструкције



Дијаграм за одређивање дебљине бетонске плоче

Метода PCA

радови Вестергарда, Пикета и Реја и резултати испитивања бетонских коловоза у САД

основне поставке методе:

- статичко једнако подељено оптерећење делује преко кружне површине

- плоча је хомогена, изотропна, еластична и једнаке дебљине

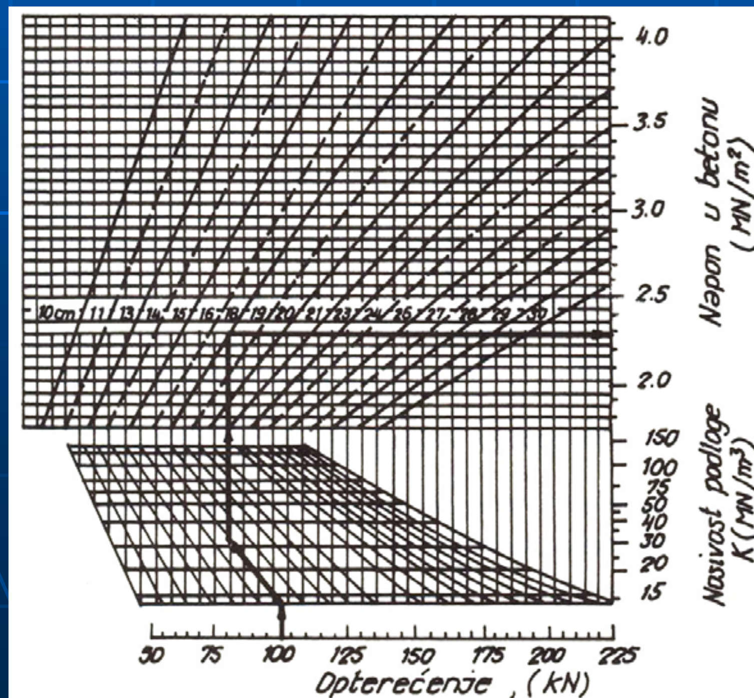
- критичан напон се јавља када се точак налази на попречној спојници

- највећи напони при затезању се јављају на дну плоче директно испод оптерећења

- ефекат преноса оптерећења преко спојница се занемарује због сигурности

- оптерећења која изазивају напоне мање од 60 % од статичког модула лома се занемарују при прорачуну замора

- дијаграми за димензионисање су урађени за период трајања коловоза од 40 година
- коефицијент напона (стварни напон у коловозу подељен модулом лома) одређује понашање бетонског коловоза на замор
- коловози са коефицијентом напона мањим од 0,51 имају практично неограничену отпорност на замор при савијању



Дијаграм за димензионисање за оптерећење од једне осовине

Метода коначних елемената

конструкција се дели на низ квадратних, правоуганоих, троугластих или других одговарајућих просторних елемената међусобно повезаних у чворовима

из померања чворова се срачунавају напони и дилатације између елемената

Напони од температуре

истог реда величине као и од оптерећења возила код крутих коловозних конструкција (плоче често испуцају пре предаје пута у саобраћај)

знатно је битнији утицај код крутих него код флексибилних коловозних конструкција

напони при савијању или извијању, напони при трењу, притајени напони

контрола напона се проводи правилном негом свежег бетонског коловоза и израдом одговарајућих спојница на препорученим растојањима

ниједна метода за димензионисање, изузев методе коначних елемената, не узима у обзир напоне од температуре

принцип: спојнице и арматура прихватају термичке напоне, а дебљина конструкције зависи од оптерећења

код флексибилних коловоза при ниским температурама (мањим од -15°C) могу се појавити попречне пукотине због појаве термичких напона који превазилазе чврстоћу на затезање

ризик се смањује правилним избором битумена (мекши битумени 150-200 pen°) и дебљине асфалт бетона

Замор

због прекорачења граничне носивости и замора материјала може настати лом коловозне конструкције

практично се одређује број понављања оптерећења до појаве замора

замор је нарочито проучаван код флексибилних коловозних конструкција (преко десет метода за анализу)